

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE — N° 114

INSTITUT D'HYDROLOGIE DE LYON

ÉTUDE
SUR LES
EAUX MINÉRALES
OU RÉPUTÉES TELLES

Du Département de la Haute-Loire

THÈSE
POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON
(SECTION DE PHARMACIE)

Présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le 22 Janvier 1927

PAR

GILBERT BOYER

Pharmacien de 1^{re} classe

Né au Puy (Haute-Loire) le 12 avril 1900



LE PUY
IMPRIMERIE DE L' « AVENIR DE LA HAUTE-LOIRE »
1927

ÉTUDE
SUR LES
EAUX MINÉRALES

OU RÉPUTÉES TELLES

Du Département de la Haute-Loire

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE — N° 114

INSTITUT D'HYDROLOGIE DE LYON

ÉTUDE

SUR LES

Eaux MINÉRALES

OU RÉPUTÉES TELLES

Du Département de la Haute-Loire

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

(SECTION DE PHARMACIE)

Présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

Le 22 Janvier 1927

PAR

GILBERT BOYER

Pharmacien de 1^{re} classe

Né au Puy (Haute-Loire) le 12 avril 1900



LE PUY

IMPRIMERIE DE L' « AVENIR DE LA HAUTE-LOIRE »

1927

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

Doyen honoraire	M. L. HUGOUNENQ.
Doyen	M. J. LÉPINE.
Assesseur	M. ROLLET.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. AUGAGNEUR, CAZENEUVE, FLORENCE (A.), ROQUE.

PROFESSEURS

Cliniques médicales	{ MM. BARD
Cliniques chirurgicales	{ PIC
Clinique obstétricale et Accouchements	{ TIXIER
Clinique ophtalmologique	{ BÉRARD
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques ..	X.
Clinique neurologique et psychiatrique	ROLLET
Clinique des maladies des enfants	NICOLAS
Clinique des maladies des femmes	LÉPINE (J.)
Clinique d'oto-rhino-laryngologie	MOURIQUAND
Clinique des maladies des voies urinaires	VILLARD
Clinique chirurgicale, infantile et orthopédie	LANNOIS
Physique biologique, Radiologie et Physiothérapie	ROCHET
Chimie biologique et médicale	NOVÉ-JOSSERAND
Chimie organique et Toxicologie	CLUZET
Matière médicale et Botanique	HUGOUNENQ
Parasitologie et Histoire naturelle médicale	MOREL
Anatomie	BRETIN
Histologie	GUIART
Physiologie	LATARJET
Pathologie interne	POLICARD
Pathologie et Thérapeutiques générales	DOYON
Anatomie pathologique	COLLET
Chirurgie opératoire	CADE
Médecine expérimentale et comparée et bactériologie	PAVIOT
Médecine légale	PATEL
Hygiène	ARLOING (F.)
Thérapeutique, hydrologie et climatologie	Étienne MARTIN
Pharmacie	COURMONT (P.)
	SAVY
	LEULIER

PROFESSEURS TITULAIRES SANS CHAIRE

Chargé d'un cours de Pathologie externe	MM. VALLAS
— — Propédeutique de gynécologie	CONDAMIN
— — Chimie minérale	BARRAL
— — Urologie	GAYET

CHARGES DE COURS COMPLÉMENTAIRES

Anatomie topographique	MM. THÉVENOT (Léon)
Puériculture et hygiène de la première enfance ..	RHENTER
Chirurgie expérimentale	TAVERNIER
Stomatologie	TELLIER

AGRÉGÉS

MM.	MM.	MM.	MM.
GARIN	ROUBIER	DUNET	DUFOURT
TRILLAT	FAVRE	CHALIER (André)	DUMAS
SARVONAT	BONNET	CHALIER (Joseph)	GABRIELLE
FLORENCE (G.)	RHENTER	NOEL	MANCEAU
ROCHAIX	MAZEL	CHEVALLIER	MARTIN (Joseph)
CORDIER (V.)	SANTY	DEVIC	ROCHET (Ph.)
			WERTHEIMER

M. BAYLE, secrétaire.

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

MM. BARRAL Président, LEULIER Assesseur,
MM. PIÉRY et FLORENCE Agrégés.



La Faculté de médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner ni approbation, ni improbation.

A LA MÉMOIRE DE MON PÈRE

Trop tôt ravi à mon affection, je
dédie ce modeste travail. Qu'il reste
toujours pour moi le modèle de la
haute conscience professionnelle et
de l'inaltérable bonté.

A LA MÉMOIRE DE MES GRAND'MÈRES

A MA MÈRE CHÉRIE

Dont l'inlassable dévouement aux heures difficiles fut pour moi le plus grand soutien. Qu'elle trouve ici l'hommage de ma reconnaissance émue.

A MA FIANCÉE

A MON FRÈRE JEAN ET A MA BELLE-SŒUR

A MON FRÈRE LOUIS

A MA SŒUR MADELEINE

A MES ONCLES ET TANTES

MEIS ET AMICI

A NOTRE MAÎTRE ET PRÉSIDENT DE THÈSE
MONSIEUR LE PROFESSEUR E. BARRAL

*Professeur de chimie minérale,
Chevalier de la Légion d'honneur.*

A MONSIEUR LE PROFESSEUR LEULIER

*Professeur de pharmacie,
Chevalier de la Légion d'honneur.*

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ PIÉRY

Chevalier de la Légion d'honneur.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ G. FLORENCE

Chevalier de la Légion d'honneur.

AVANT-PROPOS

Étant arrivé au terme de nos études pharmaceutiques, avant de quitter définitivement la Faculté, c'est pour nous un devoir très agréable que d'adresser à tous nos Professeurs l'assurance de notre profonde gratitude.

En particulier nous prions notre vénéré maître Monsieur le professeur Barral qui a bien voulu accepter de diriger notre thèse après nous en avoir indiqué le sujet, de trouver ici l'expression de notre bien vive reconnaissance et nos sincères remerciements.

Que tous ceux qui avec une bonne grâce parfaite nous ont facilités nos recherches ou nous ont aidé au cours de nos études soient ici remerciés. En particulier Monsieur le docteur Arsac, directeur du laboratoire départemental d'hygiène du Puy qui a bien voulu s'intéresser à notre travail, et Monsieur Baldit qui nous fit part de ses travaux si intéressants sur la radioactivité des sources minérales de la Haute-Loire.

Nous ne saurions oublier MM. les propriétaires des sources hydro-minérales qui ont accueilli avec empressement nos demandes de renseignements, nous ont fait visiter leur exploitation et ont ainsi grandement facilité notre tâche. Que tous ici soient remerciés.

INTRODUCTION

Le département de la Haute-Loire, à l'encontre de ses plus proches voisins la Loire, le Puy-de-Dôme, le Cantal et l'Ardèche, semble pauvre au point de vue hydro-minéral.

Dans leur *Précis d'hydrologie*, MM. les professeurs Jadin et Astruc disent dans le chapitre réservé au Velay que les « sources minérales y sont peu importantes ». Dans le *Dictionnaire géographique de la France*, Joanne compte dans tout le département 12 sources, d'un débit total de 28 à 29 litres par minute.

Parlant des richesses minérales du département M. Marcelin Boule dans son *Guide du Touriste, du Naturaliste et de l'Archéologue* signale aussi cette pauvreté du sous-sol vellave en eaux minérales :

Néanmoins c'est avec un très grand plaisir, que nous avons accepté l'offre de notre maître Monsieur le professeur Barral de nous occuper de l'étude des sources hydro-minérales de notre département.

Nous ne croyons pas qu'avant nous un tel sujet ait été traité. Sans doute, M. Malègue, présentait en 1886 à l'école de Montpellier, un essai d'*Étude sur les eaux minérales des départements de la Loire, de la Haute-Loire et de l'Allier*. Mais ce travail, ancien

déjà, est fort succinct et les sources qui nous intéressent y sont passées très rapidement en revue, et quelques-unes mêmes ont acquis, depuis ces dernières années, une importance plus considérable de par leur caractère radioactif, telle par exemple, la source des Estreys, si bien étudiée par notre excellent ami A. Batisse.

Nous nous sommes efforcés d'établir pour chaque source un exposé historique aussi complet que possible, en nous aidant des renseignements puisés dans les ouvrages d'histoire locale. Pour les sources déjà connues nous avons pris les analyses qui nous ont paru les meilleures, après vérification ; nous les avons complétées par quelques recherches personnelles ; pour les autres non captées ou ayant cessé d'être exploitées, et sur lesquels nous n'avons pu avoir aucun renseignement, nous donnons les résultats de nos études.

CHAPITRE I^{er}

ÉTUDE GÉNÉRALE

sur la nature et la formation des sources hydro-minérales

Il est difficile, à première vue et pratiquement, d'établir une différence très nette entre les eaux simplement potables et les eaux minérales. Sans doute, ces dernières attirent l'attention par une saveur spéciale, dénotant la présence de principes minéralisateurs plus ou moins abondants, mais ce caractère n'est ni nécessaire ni suffisant; c'est ce qui explique que des eaux, bien que n'ayant aucun caractère très spécial, sont parfois qualifiées de minérales.

Le terme de minérale est donc un terme vague, et pour qu'une eau soit acceptée comme telle, il faut qu'elle jouisse de propriétés thérapeutiques. En effet, le Congrès de Genève a défini l'eau minérale : « L'eau naturelle proposée à la consommation en raison des propriétés thérapeutiques ou hygiéniques spéciales », et en 1911 le Conseil supérieur d'Hygiène publique de France donna la définition suivante : « L'eau minérale naturelle est une eau à laquelle on attribue des propriétés thérapeutiques. »

D'après ces définitions, l'eau minérale est donc une eau médicinale, et ce terme, proposé par Chevreul, serait beaucoup plus exact. Certaines eaux bien que très faiblement minéralisées, quelques sulfurées sodiques par exemple, ayant à peine 0,15 d'éléments minéralisateurs par litre, sont considérées comme minérales, alors que d'autres ne le sont pas, quoique présentant une minéralisation plus forte (0 gr. 50 parfois).

Nous ne saurions faire rentrer dans le cadre restreint de notre sujet une étude approfondie de l'origine des eaux minérales et des théories tour à tour émises sur leur formation. Nous nous contenterons d'exposer rapidement les plus généralement admises.

Au point de vue de leur origine, les eaux minérales peuvent être divisées en deux groupes : les eaux d'infiltration et les eaux vierges.

Les premières sont superficielles. Elles proviennent, comme les eaux douces, d'eaux météoriques pénétrant par capillarité dans le sol. Là, traversant des couches successives de terrains, elles se chargent par un processus mal défini de principes minéralisateurs, puis reviennent au jour par une marche ascendante profitant généralement de failles. Elles sont froides, et leur débit varie avec les saisons et les phénomènes météorologiques.

Les eaux vierges, au contraire, sont d'origine beaucoup plus profondes. Elles sont formées dans les régions ignées du centre de la terre et jaillissent des failles ou filons anciens et modernes. Leur débit

est plus régulier, indépendant des saisons et elles contiennent, en général, des éléments venus des profondeurs, fer, arsenic, brome, iode, émanations radioactives, etc.

Pour Élie de Beaumont « on pourrait les considérer comme des volcans privés de la faculté d'émettre aucun autre produit que des émanations gazeuses, qui dans le plus grand nombre de cas, n'arrivent à la surface que condensées en eaux minérales ». C'est cette théorie qu'Armand Gauthier reprit et compléta. Il explique l'écoulement régulier de ces sources par l'action lente et continue du feu central sur les roches qui perdent et récupèrent leur eau de constitution. Ces sources proviendraient donc d'une véritable distillation pyrogénée des roches primitives.

Cependant, il y a lieu de faire remarquer avec de Launay, que dans certains cas, par suite de failles très profondes, des eaux superficielles peuvent descendre à de très grandes profondeurs, se charger de sels et fournir ainsi des eaux minérales plus ou moins chaudes.

Quelque soit l'origine des eaux minérales, elles n'arrivent à la surface que par des failles ou des fractures. C'est donc dans les régions de fractures que nous trouverons leur point d'émergence.

CHAPITRE II

APERÇU GÉOLOGIQUE ET GÉOGRAPHIQUE du département de la Haute-Loire

Il nous a paru utile, avant d'entreprendre l'étude des sources hydro-minérales du département, de donner un court aperçu de sa constitution géologique. Cela nous permettra de mieux situer les sources et d'en comprendre plus facilement la nature.

Pour cette étude nous nous sommes inspiré du remarquable ouvrage de M. M. Boule, *Description géologique du Velay* et du *Guide du touriste, du naturaliste et de l'archéologue pour la Haute-Loire et le Haut-Vivaraïs*, publié en 1911 par le même auteur.

La Haute-Loire est un département essentiellement montagneux. Seules la Loire et l'Allier ont pu dans une certaine partie de leur cours en élargissant leur vallée former les plaines du bassin du Puy et de Brioude.

En dehors de ces deux plaines le relief est constitué par trois chaînes de montagnes.

1° A l'Est une série de faites comprenant les massifs du Mezenc et du Mégal coupant obliquement l'axe des Cévennes et la chaîne des Boutières dont le soubassement est analogue à celui du Mezenc. Pendant toute la durée du Pliocène, et une grande

partie du Pleistocène, cette région fut le siège d'une activité volcanique manifeste, et on y observe des coulées très anciennes. Ce sont des basaltes qui se relient aux basaltes du plateau des Coirons dans l'Ardèche. L'activité volcanique ne cessa pas pendant tout le Pliocène inférieur. Sur le basalte miocène reposent des masses trachytiques surmontées de coulées énormes andésites augitiques, labradorites augitiques, basaltes compactes et basaltes porphyroïdes. Ce fut au commencement du Pliocène moyen qu'eurent lieu les épanchements phonolitiques formidables qui donnent à cette région du Mezenc et du Mégal une physionomie si particulière.

Le massif du Mégal est plus morcelé que celui du Mezenc, il présente une série de suc ou de tables, produits d'éruptions, séparés par de profonds ravins creusés le plus souvent dans des marnes ou des argiles oligocènes.

2° Traversant le département du N.-O. au S.-E. la chaîne du Velay ou du Deves. Ce fut un socle de terrains archéens au relief déjà prononcé avant la période du Pliocène moyen qui marque pour cette région le début de l'activité volcanique. De nombreux cratères s'établirent et épanchèrent leur lave vers la vallée de l'Allier. Mais la grande période éruptive de cette chaîne fut le Pliocène supérieur ; les bouches volcaniques s'ouvrent nombreuses et font disparaître tous les terrains antérieurs sous une couche de lave souvent très épaisse. Aujourd'hui les cônes sont plus ou moins bien conservés

et les coulées de lave ont formé de vastes plateaux se prolongeant vers la Chaise-Dieu et Craponne par de hautes terres granitiques.

3° Enfin limitant le département à l'Ouest, une troisième chaîne parallèle à celle du Deves, formée uniquement par des terrains cristallins et du granit porphyroïde.

C'est entre ces grands accidents, que la Loire et l'Allier ont creusé leurs profondes vallées, tant que sur leur parcours elles ont trouvé les terrains durs, archéens granitiques ou volcaniques. Mais, vers le milieu du département, rencontrant des argiles, des marnes ou des calcaires oligocènes, elles ont, élargissant leurs vallées, formé les plaines de Lamblaves et de Brioude.

Enfin, séparé de la plaine de Lamblaves par la haute barrière de St-Quentin-Chaspinhac, le bassin du Puy. C'est dans cette cuvette, que sont venus expirer les coulées anciennes du Mezenc et du Mégal et celles plus récentes des monts du Velay. On y relève un grand développement de terrains lacustres oligocènes provenant de lacs de l'époque Eocène (arkose) et du début de l'oligocène (dépôts lagunaires infra tongriens, gypses sans fossiles, marnes et calcaires, argiles sableuses). La sédimentation a probablement duré toute l'époque tongrienne et pendant l'Aquitaniien. Ces terrains oligocènes forment la base des collines environnant le Puy. En résumé, le département de la Haute-Loire est exclusivement volcanique avec prédominance du basalte et du granit.

Nous avons vu, dans le chapitre précédent, que les sources minérales jaillissent dans les failles et les ravins creusés par les rivières et les torrents. C'est donc aux pieds des chaînes de montagnes que nous allons les trouver. Dans le massif du Mezenc et du Mégal et dans la vallée de la Loire, Bonnefont, Serville, les Pandraux; dans les monts du Velay, St-Paul-de-Tartas, Ceyssac, les Estreys, Sembadel, la Soucheyre, Bas-en Basset, la Chapelle-d'Aurec; dans la vallée de l'Allier, St-Julien-des-Chazes, Langeac; enfin la région de Brioude se rattachant à l'Auvergne et empiétant sur le Puy-de-Dôme, Azérat, St-Géron et Vézézoux.

En étudiant les propriétés physiques de ces sources, on constate que quatre d'entre elles présentent une radioactivité plus forte : ce sont les sources de Bonnefont, de Ceyssac, des Estreys et de Sembadel. Or, si l'on se reporte à la carte du département, on constate que ces quatre sources sont situées sensiblement sur une même ligne droite, la distance entre les deux sources extrêmes étant de 44 km. Ce fait très curieux a été signalé par M. Baldit, dans une note qu'il fit présenter par M. de Broglie à l'Académie des Sciences en mars 1925 (1).

(1) Sur un alignement des sources radioactives dans la région du Velay (Hte-Loire), *Bulletin des comptes rendus* à l'Académie des Sciences, 30 mars 1925 (page 1026).

CHAPITRE III

MÉTHODES DE RECHERCHES

L'analyse complète d'une eau minérale est une opération longue et délicate. Les éléments minéralisateurs y sont souvent très nombreux et parfois en quantité très faible, aussi faut-il pour les isoler et les doser évaporer un notable volume d'eau.

Avant de procéder aux prises d'essais pour le laboratoire, il y a lieu de pratiquer à la source même certaines opérations essentielles. Après avoir noté le mode de captage, le débit, la température de l'eau ainsi que la température ambiante, on étudiera la nature géologique des terrains desquels la source émerge. On déterminera ensuite les caractères organoleptiques de l'eau, limpidité, couleur, odeur, onctuosité.

On peut par de simples réactions chimiques : tournesol, acides minéraux, ammoniacque, chlorure de baryum, etc., faire un premier examen qualitatif permettant de classer immédiatement l'eau dans un des groupes connus : Acidulée gazeuse — Bicarbonatée gazeuse ou sodique calcique — Chlorurée — Magnésienne — Ferrugineuse.

Enfin on préparera certaines opérations qui seront terminées par la suite au laboratoire : on fixera l'acide carbonique libre. Plusieurs flacons de

500 cm³. bouchés à l'émeri contenant 10 cm³. d'ammoniaque non carbonatée et 10 cm³. solution de chlorure de baryum auront été exactement tarés. A la source on les remplira rapidement, on les bouchera et le bouchon bien assujetti sera paraffiné.

S'il y a lieu on prendra les différents degrés sulfhydrométriques, et on prélèvera les échantillons des divers dépôts naturels.

On procèdera pour terminer à la prise de la quantité d'eau nécessaire pour le laboratoire. Au cours de nos recherches nous avons apporté le plus grand soin à cette opération.

Nous avons au préalable traité nos bonbonnes et bouteilles suivant la méthode générale : lavage au permanganate en solution concentrée puis après égouttage, nous les avons traitées à l'acide sulfurique diluée.

Après dix minutes de contact, nous les avons rincées à l'eau distillée jusqu'à ce que les eaux de lavages ne présentent plus aucune réaction acide au tournesol. Avant de les remplir à la source, nous les avons rincées deux ou trois fois avec l'eau à étudier. Les bouchons, préalablement maintenus pendant une heure dans l'eau distillée bouillante, ont été lavés aussi à l'eau de la source.

Nous n'avons pas l'intention de donner ici une étude très complète des méthodes employées au cours d'une analyse d'une eau minérale. Nous nous contenterons d'exposer les procédés que nous avons employés nous-même, renvoyant pour les techniques opératoires, aux ouvrages spéciaux des

professeurs Barral, A. Florence, Deniges, Jadin et Astruc.

ESSAIS DE POTABILITÉ

Les eaux minérales, étant donnée la nature même de leur formation, sont potables en principe. En réalité, si le mode de captage est défectueux, voir même, comme il arrive souvent dans la Haute-Loire inexistant, ou presque, les eaux peuvent être polluées. Il est donc nécessaire de rechercher si elles sont potables.

Tableau des essais préliminaires pour classer une eau potable

(D'après M. le professeur Barral.)

- 1° L'eau doit être limpide, incolore, inodore, de saveur fraîche et agréable, non putrescible (aucune altération au bout de deux jours à 30°).
- 2° *Chlorure de sodium*. — 100^{cc} eau + III gouttes solution chromate jaune de potasse + 1^{cc} solution nitrate d'argent à 1,45 0/0, si solution reste rouge NaCl < 50 milligr.
- 3° *Matières organiques*. — 100^{cc} eau + 5^{cc} solution saturée bicarbonate de soude + 2^{cc},5 solution aqueuse permanganate à 0,395 0/00, 10 minutes à l'ébullition, si permanganate décoloré, non potable.
- 4° *Hydrogène sulfuré*. — Si colorée par acétate de plomb ou par nitroprussiate, non potable.

- 5° *Ammoniaque*. — Si coloration jaune par réactif de Nessler, non potable.
- 6° *Nitrites*. — Si présence, non potable.
- 7° *Nitrates*. — Si quantité supérieure à 4 mmg. par litre, eau mauvaise.
- 8° *Sulfates*. — Par azotate de baryum et acide azotique.
- 9° *Calcium*. — Par oxalate d'ammoniaque et acide acétique.

NITRITES. — Plusieurs réactifs sont proposés pour la recherche de l'*azote nitreux*. En ce qui nous concerne, nous avons employé :

Le réactif à l'*Iodure de zinc amidonné de Tromsdorff* qui, à la dose de 5^{cc} pour 100^{cc} d'eau et 2^{cc} acide sulfurique au quart, donne, en présence de nitrites, une coloration bleue avant une minute.

Le réactif de *Tiemann et Preuss*, donnant une coloration jaune brun Bismark.

Et surtout le réactif de *Griess*, le plus sensible, reposant sur la coloration rose qui se produit en présence de l'acide sulfanilique et des nitrites en solution acétique et l' α naphtylamine.

Enfin, nous nous sommes servi d'un procédé plus récent dû à *Rodillau*. On utilise le réactif suivant :

Résorcine.....	3 grs
So ⁴ H ² pur.....	50 —
(Dissoudre par agitation).	

Dans un tube à essai aux 2/3 rempli d'eau à examiner, on verse doucement, sans mélanger 3 à 4^{cc} du réactif. En cas de présence de nitrites, for-

mation d'un anneau rose à la limite de séparation de la couche aqueuse et de la couche sulfurique.

NITRATES. — Pour la recherche et le dosage des nitrates, nous nous sommes servis de l'excellent réactif de *Grandval et Lajoux* ou *réactif sulfophéniqué*. Le procédé repose sur la transformation des nitrates par le réactif sulfophéniqué, en acide picrique et sur l'intensité de coloration du picrate d'ammoniaque obtenu par addition d'ammoniaque.

Le résidu d'évaporation à sec de 20^{cc} d'eau est traité par 1^{cc} de réactif puis dissous dans 10^{cc} d'eau distillée. La solution obtenue, versée dans un tube à essais est additionnée de 5^{cc} d'ammoniaque. Il se produit en présence d'azote nitrique une coloration jaune plus ou moins intense que l'on compare, pour un dosage, aux colorations jaunes données par une gamme de solutions titrées de nitrate de soude.

AZOTE AMMONIACAL ET AZOTE ALBUMINOÏDE. — Ces deux recherches sont basées : la première, sur le déplacement de l'ammoniaque, de ses combinaisons salines par une base assez faible pour être sans action sur l'azote albuminoïde, la magnésie ou le carbonate de soude par exemple et dosage colorimétrique ou titrimétrique, la seconde, après départ de l'ammoniaque salin, sur la libération de l'azote, de ses combinaisons organiques au moyen de permanganate en solution alcaline qui, agissant comme oxydant, brûle les matières organiques et dégage l'azote sous forme d'ammoniaque que l'on dose également par colorimétrie ou titrimétrie.

Cette opération s'effectue à l'aide de l'appareil d'*Aubin* sur un litre d'eau additionné d'un gramme de magnésie. Pour un dosage colorimétrique, le distillatum est recueilli par fractions de 50^{cc} dans lesquelles on verse 2^{cc} de réactif de Nessler jusqu'à ce que l'on obtienne une fraction ne donnant plus de coloration sensible par addition de ce réactif; les colorations obtenues sont comparées à celles que donne une gamme au chlorure d'ammonium. Le dosage titrimétrique donne des résultats beaucoup plus exacts. On recueille environ 250^{cc} de distillat dans 40^{cc} d'acide sulfurique N/100, et on dose l'excès d'acide sulfurique par la soude N/100 en présence d'acide rosalique. Soit *n* le nombre de centimètres cubes de soude qu'il a fallu verser pour obtenir le virage au violet, on obtiendra :

$$(40 - n) \times 0,00017 = \text{ammoniaque par litre}$$

$$(40 - n) \times 0,00014 = \text{azote ammoniacal par litre}$$

Pour effectuer le dosage de l'azote albuminoïde, on attend d'avoir distillé environ la moitié de l'eau mise en œuvre dans l'opération précédente, on laisse refroidir et on verse dans le ballon 50^{cc} d'une solution aqueuse renfermant par litre 8 grs de permanganate de potasse et 200 grs de potasse pure. Le distillat est recueilli comme précédemment pour un dosage colorimétrique ou titrimétrique.

MATIÈRES ORGANIQUES. — Si à une eau contenant des matières organiques on ajoute un excès connu d'une solution titrée de permanganate de potasse, ces matières organiques absorbent une partie de

l'oxygène du permanganate qui sera ramené ainsi à l'état de sel manganoux. Mais, pour connaître la quantité de permanganate ainsi transformé, il faut en doser l'excès ; on ne pourra le faire qu'en ajoutant un excès connu d'une solution de sulfate ferreux, et on dose alors par le permanganate la quantité en excès du corps réducteur, le sulfate ferreux.

Le dosage est effectué en milieu acide d'abord, puis en milieu alcalin. Si le résultat du dosage en milieu alcalin est supérieur à celui trouvé en milieu acide, cette différence est ordinairement le caractère d'une eau souillée par infiltration de matières organiques d'origine animale ou excrémentielle.

MODE OPÉRATOIRE. — On prépare une solution aqueuse de permanganate de potasse à 0,395 par litre. 1^{cc} de cette solution correspond à 0 mmgr. 1 d'oxygène ou 0 mmgr. 75 d'acide oxalique.

Pour opérer en milieu acide, on prend deux ballons et l'on verse dans le premier 200^{cc} et dans le second 100^{cc} d'eau à analyser puis dans chacun d'eux 10^{cc} d'acide sulfurique à 25 0/0 10^{cc} de la solution titrée de permanganate et l'on porte à l'ébullition que l'on maintient exactement 10 minutes. On laisse refroidir pendant 1/2 heure et l'on ajoute 10^{cc} d'une solution de sulfate ferreux contenant 5 gr. de sulfate ferreux dissous dans un litre d'eau distillée additionnée de 20^{cc} d'acide sulfurique pur. L'excès de permanganate est réduit et la liqueur complètement décolorée. On verse,

alors, à l'aide de la burette, la solution titrée de permanganate jusqu'à coloration rose légère. On note soigneusement les volumes N et n de permanganate employé.

En milieu alcalin, on opère de façon identique en remplaçant les 10^{cc} d'acide sulfurique à 25 0/0 versé au début dans les ballons par 10^{cc} de bicarbonate de soude à 10 0/0 puis en repassant en milieu acide, après 10 minutes d'ébullition et refroidissement, par 10^{cc} d'acide sulfurique à 25 0/C. En opérant ensuite comme dans les opérations précédentes, on note les volumes N' et n' nécessaires pour obtenir la coloration rosée.

L'avantage de cette méthode préconisée par M. le professeur Barral est d'éviter l'emploi de l'eau distillée assez souvent souillée de matières organiques.

Interprétation :

N — n = O consommé par 100^{cc} eau en milieu acide

N' — n' = O consommé par 100^{cc} eau en milieu alcalin

En milieu acide :

$$1^{\circ} 0^{\text{mmgr.}} \quad \frac{1 \times (N - n) \times 1000}{100} = \text{matières organiques en O par litre.}$$

$$2^{\circ} 0^{\text{mmgr.}} \quad \frac{738 \times (N - n) \times 1000}{100} = \text{matières organiques en acide oxalique par litre.}$$

En milieu alcalin :

$$1^{\circ} 0^{\text{mmgr.}} \quad \frac{1 \times (N' - n') \times 1000}{100} = \text{matières organiques en O par litre.}$$

$$2^{\circ} 0^{\text{mmgr.}} \quad \frac{738 \times (N' - n') \times 1000}{100} = \text{matières organiques en acide oxalique par litre.}$$

Ces recherches de potabilité étant faites, on procède à l'analyse qualitative puis quantitative des eaux.

Analyse qualitative

On opère sur le résidu d'évaporation de 4 à 5 litres d'eau en utilisant les méthodes générales d'analyse qualitative.

Analyse quantitative

Nous donnerons ci-dessous les procédés les plus fréquemment usités pour le dosage des éléments minéralisateurs contenus en quantité généralement notable dans les eaux. Pour les autres éléments contenus en quantité souvent très faible, nous renverrons aux ouvrages spéciaux d'hydrologie.

Degrés hydrotimétriques:

On désigne sous le nom d'*Hydrotimétrie* une méthode rapide d'essais permettant d'être renseigné sur la dureté d'une eau, c'est-à-dire sur la quantité de sels alcalino-terreux et d'acide carbonique qu'elle contient.

Elle est basée sur la propriété que possède une solution hydro-alcoolique de savon de former avec les sels terreux des composés insolubles ; la dissolution du savon ne se produit qu'ensuite et se manifeste par une mousse persistante, après agitation ; de la quantité de savon employée on déduit la dureté de l'eau.

L'eau à examiner est placée dans le flacon hydro-

timétrique et à l'aide de la burette hydrotimétrique on verse la solution de savon vérifiée jusqu'à obtention d'une mousse d'un demi centimètre d'épaisseur persistant au moins 10 minutes. Le degré lu sur la burette donne le degré *hydrotimétrique total*.

La même opération répétée sur l'eau après ébullition prolongée, refroidissement, retour au volume primitif par addition d'eau distillée et filtration, donne le *degré permanent* c'est-à-dire celui de l'eau débarrassé du gaz carbonique et du carbonate de chaux.

RÉSIDU SEC. — On évapore à siccité à feu nu d'abord puis, pour terminer, au B. M. dans une capsule tarée en platine, deux litres d'eau exactement mesurés. On porte à l'étuve pendant une heure à 100-110°, on laisse refroidir dans l'exsiccateur et on pèse. On a ainsi le *résidu à 100-110*. Puis on porte à nouveau la capsule dans l'étuve pendant une heure à 180°; certains sels (ceux de magnésie, par exemple) ne perdent leur eau de cristallisation qu'à cette température. Après refroidissement dans l'exsiccateur, on pèse : *on a le résidu à 180°*. Enfin, on peut porter au rouge sombre et obtenir ainsi le *résidu fixe*, ce qui d'ailleurs ne présente pas grand intérêt.

DÉTERMINATION ET DOSAGE DES GAZ. — Cette opération doit se faire en recueillant à la source même les gaz, dans une éprouvette graduée, sur la cuve à mercure. On introduit successivement, au moyen

d'un fil de platine, divers réactifs qui absorbent ces gaz les uns après les autres : une simple lecture du volume restant permet de connaître la quantité de gaz absorbée. Les *gaz carbonique* et *sulfhydrique* seront enlevés à l'aide d'une pastille de potasse humide, une petite boulette de papier filtre imprégnée d'une solution alcaline de pyrogallate de potasse absorbera l'*oxygène*, l'*azote* et les *gaz rares* pourront alors être séparés d'après les méthodes spéciales indiquées par Moureu.

ALCALINITÉ. — On détermine l'alcalinité en présence de quelques gouttes de méthylorange. On traite 100^{cm} d'eau par l'acide sulfurique N/10 jusqu'à virage du colorant. On a ainsi l'*alcalinité totale*. L'*alcalinité permanente* sera évaluée de la même façon, mais après ébullition prolongée de l'eau, séparation du carbonate de chaux précipité et refroidissement.

Ces opérations seront effectuées dans des vases en porcelaine ou en platine, afin d'éviter l'attaque du verre par l'eau.

ACIDE CARBONIQUE. — L'acide carbonique se trouve dans les eaux minérales sous trois états : *libre* (simplement dissous dans l'eau), *demi combiné* (bicarbonates alcalins et terreux) et *combiné* (carbonates alcalins).

On dosera d'abord l'*acide carbonique total*, en opérant sur les flacons préparés à la source même comme nous l'avons indiqué précédemment. On a un précipité composé de carbonate et de sulfate

de baryum. Ce précipité, recueilli et lavé, est traité par l'acide chlorydrique qui dissout le carbonate de baryum et laisse un résidu de sulfate. La liqueur chlorydrique de chlorure de baryum est précipitée par l'acide sulfurique. Le sulfate de baryum est recueilli, lavé et pesé; du poids du baryum on déduit la quantité de co^2 qui se trouvait à l'état de carbonate de baryum.

L'acide carbonique *libre* et à *demi combiné* est dosé par l'eau de baryte titrée et en excès. Après la formation du précipité on détermine cet excès au moyen de l'acide oxalique; on en déduit la portion hydrate de baryum combinée et, partant, la quantité de co^2 à laquelle elle correspond.

Dosage du soufre :

Le soufre peut exister dans les eaux sous quatre états : *Hydrogène sulfuré, Sulfures, Hyposulfites et Sulfates.*

A) HYDROGÈNE SULFURÉ, SULFURES ET HYPOSULFITES. — Se rencontrent généralement associés en proportions diverses dans les eaux dites sulfureuses. Ces eaux sont très instables et leur analyse doit être rapide. On emploie, pour ces dosages, la méthode *iodométrique*.

On peut faire un dosage global : 100^{cc} d'eau sont additionnés de 5^{cc} de solution N/10 d'iode. On dose l'excès d'iode non transformé à l'aide d'une solution N/10 d'hyposulfite de soude, en ajoutant au moment où la coloration jaune a presque dis-

paru, une solution limpide d'empois d'amidon comme réactif indicateur.

Soufre des sulfurures et hyposulfites. — On chasse l'hydrogène sulfuré libre par un courant d'hydrogène à l'ébullition. On refait le dosage comme précédemment. Dans ces deux dosages : deux molécules d'iode se combinent à une molécule d'hydrogène sulfuré, de sulfure ou de sulfite pour donner deux molécules d'acide iodhydrique. Donc :

$$127 \text{ d'iode correspondent à } \frac{34}{2} = 17 \text{ d'H}_2\text{S}$$

Dans des solutions trop riches en H_2S plus de 500 mmgrs par litre) ou en So^2 (plus de 400 mmgrs par litre), la réaction est réversible.

Soufre des hyposulfites. — On chasse l'hydrogène sulfuré comme pour le dosage précédent, puis on ajoute du carbonate de plomb qui précipite les sulfures et laisse l'hyposulfite en solution. On fait ensuite le dosage iodométrique. Dans cette opération deux molécules d'iode se combinent à deux molécules d'hyposulfite pour donner une molécule de tétrathionate de soude incolore. Donc :

$$127 \text{ d'iode correspondent à } \frac{32}{2} = 16 \text{ de soufre}$$

$$1 \text{ d'iode} = 0,883 \text{ d'ion S}^{203}.$$

Il est donc très important, dans une analyse, de distinguer le coefficient donnant le soufre des sulfures et sulfites, du coefficient donnant le soufre des hyposulfites.

B) ACIDE SULFURIQUE. — On le dose à l'état de

sulfate de baryum, en traitant à l'ébullition un volume connu d'eau, préalablement concentré, par une solution de chlorure de baryum. Le précipité est recueilli sur un filtre, lavé à l'eau bouillante, desséché, calciné et pesé. Du poids du sulfate de baryum recueilli, on déduit la teneur de l'eau en acide sulfurique.

Acide phosphorique. — Nous avons employé la méthode *Deniges-Florentin* dont le principe est le suivant : Si à une eau contenant une faible quantité de phosphates on ajoute quelques gouttes d'une solution sulfurique de molybdate d'ammoniaque et une ou deux gouttes d'une solution de chlorure stanneux, il se produit une coloration bleue due à la formation d'un complexe phospho molybdique.

Solutions nécessaires :

- a) Solution de molybdate d'ammoniaque à 10/100..... 100 cm³
Acide sulfurique à 50 0/0..... 300cm³
- b) Etain pur..... 0,gr10
Acide chlorydrique..... 2c.
Solution de sulfate de cuivre à 1/10 1 goutte

Mode opératoire :

- Eau à analyser..... 10^{cc}
Réactif A..... III gouttes
Réactif B..... II gouttes

Au bout de quelques secondes apparaît une coloration bleue qui s'intensifie et devient invariable au bout de dix minutes.

Pour le dosage on compare cette coloration avec la gamme de colorations produites à l'aide de solutions titrées de phosphate de soude traitées de façon identique.

On peut aussi faire un dosage pondéral en traitant 200^{cc} d'eau réduit par évaporation et acidulé par l'acide azotique, par le réactif nitro-molybdique à chaud. Le précipité jaune est recueilli sur un filtre, lavé, séché et pesé.

Chlore. — Brome. — Iode. — De ces trois halogènes, le premier est de beaucoup le plus important, les deux autres ne se trouvant qu'à l'état de traces dans les eaux.

On fait un dosage global de ces trois éléments en employant la très bonne méthode de *Charpentier et Wohlar*d. On dose ensuite, s'il y a lieu, le brome et l'iode, et par différence on obtient la teneur en chlore.

La méthode *Charpentier et Wohlar*d est la plus précise. On ajoute à 200^{cc} d'eau, un excès de solution N/10 d'azotate d'argent (10^{cc} par exemple) puis 5^{cc} solution récente d'alun de fer ammoniacal et de l'acide azotique en excès. On dose l'excès d'argent à l'aide d'une solution correspondante de sulfocyanure d'ammonium.

Le dosage de l'iode et du Brome s'opère de la façon suivante : 5 à 10 litres d'eau sont additionnés de carbonate de potasse pur et évaporés. On ajoute au liquide ainsi concentré une solution de perchlorure de fer et l'on distille en recueillant les vapeurs

d'Iode mises en liberté dans un ballon contenant une solution d'iodure de potassium pur et exempt d'alcali libre. On dose alors l'Iode par l'hyposulfite en présence d'empois d'amidon.

Lorsque toutes les vapeurs d'Iode sont dégagées on ajoute au liquide restant du bioxyde de plomb et de l'acide acétique. On distille, le Brome est mis en liberté et ses vapeurs recueillies dans l'ammونياque. On dose par l'azotate d'argent en présence de chromate neutre de potasse.

Silice. — La silice et les autres éléments minéralisateurs contenus en quantité souvent notable dans les eaux seront dosés dans le résidu d'évaporation à siccité de 5 litres d'eau en présence d'une petite quantité d'acide chlorydrique. Le résidu est chauffé pendant une heure à 120°; puis calciné légèrement à 300° pour deshydrater et insolubiliser complètement la silice; enfin après addition d'un peu d'eau, la liqueur est chauffée et la silice rendue insoluble est séparée par filtration, séchée puis calcinée et pesée très rapidement pour éviter qu'elle absorbe l'humidité atmosphérique.

On peut ensuite chauffer cette silice avec du fluorure d'ammonium pur et de l'acide sulfurique; s'il reste un résidu, il faut en tenir compte et déduire son poids du poids brut de silice.

Fer et Alumine. — Le liquide séparé par filtration de la silice sert à doser le fer et l'alumine.

On peroxyde le fer en additionnant la liqueur de quelques gouttes d'acide azotique, puis après refroidissement.

dissement on la traite par le chlorure d'ammonium et l'ammoniaque en excès. Le précipité obtenu contient le fer et l'alumine. Mais dans cette opération on a pu entraîner de petites quantités de chaux et de magnésie, aussi est-il bon de recommencer une nouvelle précipitation en agissant dans les mêmes conditions, après avoir dissout le précipité dans un peu d'acide chlorydrique dilué. Ce deuxième précipité formé d'oxyde de fer et d'alumine est desséché, calciné et pesé. On le redissout dans l'acide chlorydrique dilué, puis on traite par la potasse en excès à l'ébullition qui précipite le fer et laisse l'alumine en solution. Le fer est dosé et son poids déduit du poids total donne la quantité d'alumine $Al^2 O^3$.

On divise la liqueur de laquelle on a séparé le fer et l'alumine en deux parties, l'une devant servir au dosage du calcium et du magnésium, l'autre à celui des métaux alcalins potassium et sodium.

Calcium et Magnésium. — On ajoute à la solution du chlorure d'ammonium et l'on porte à l'ébullition. On y ajoute de l'oxalate d'ammoniaque jusqu'à cessation du précipité. Après 24 heures de repos on filtre, on lave le précipité et une fois sec on le calcine au rouge sombre. On y ajoute alors quelques gouttes d'acide sulfurique à 1/10, on évapore et après calcination on pèse la chaux à l'état de sulfate.

Les liqueurs filtrées, débarrassées de l'oxalate de calcium, sont évaporées à siccité. On calcine au

rouge pour détruire les sels ammoniacaux. Le résidu est repris par l'eau additionnée d'acide chlorhydrique. On ajoute une solution de phosphate de soude et de l'ammoniaque en excès. On mélange avec un agitateur, sans toucher les parois du vase et on laisse au repos 12 heures. Le précipité est lavé à l'eau ammoniacale, on le sèche, on le calcine et on obtient la magnésie à l'état de pyrophosphate.

Potassium et Sodium — La seconde partie de la solution est additionnée d'eau de baryte pour précipiter : la magnésie, les acides phosphoriques et sulfuriques. On ajoute un peu d'ammoniaque et du carbonate d'ammoniaque qui précipite l'excès de baryte ainsi que le calcium. On filtre, on évapore le liquide et on calcine. Le résidu est repris par l'eau bouillante, la solution est filtrée puis en ajoutant de l'acide chlorhydrique on transforme les carbonates en chlorures. On évapore à sec à 110° et on pèse les chlorures de Potassium et de Sodium. On dose ensuite le potassium en dissolvant les chlorures dans un peu d'eau distillée chaude et précipitant par le chlorure de Platine après légère concentration au B. M. et addition d'alcool à 90°. Au bout de 24 heures le précipité obtenu est lavé avec un mélange éthero-alcoolique, séché et pesé. On déduit par différence le poids du Sodium.

Identification des eaux minérales

Chaque eau minérale étant donnée la grande quantité et surtout la diversité des éléments miné-

ralisateurs qu'elle contient, possède donc une individualité propre. Il semble, en effet, impossible que deux eaux minérales différentes présentent une minéralisation rigoureusement semblable et qualitativement et quantitativement. On pourra dès lors les identifier. Monsieur Bonjean, directeur du laboratoire du conseil d'Hygiène, démontra que cette identification n'exige point l'analyse complète des éléments chimiques ce qui serait une opération difficile à réaliser. D'après lui la détermination de quatre éléments est nécessaire mais suffisante. Ce sont :

l'alcalinité totale et permanente ;

les chlorures ;

les nitrates ;

le degré hydrotimétrique total ou permanent.

Cependant si un doute subsistait, il y aurait lieu de déterminer le chiffre des sulfates, pour effacer toute incertitude.

Cette méthode que M. Bonjean appelle aquamétrie est simple et peut rendre de réels services. Nous ferons simplement remarquer que la minéralisation d'une eau n'est pas absolument constante et qu'il peut se produire des variations, même pour les eaux d'origine très profonde.

CHAPITRE IV

BONNEFONT

La petite station hydrominérale de Bonnefont est une des plus connues du département de la Haute-Loire. On la désigne sous plusieurs noms : Bonnefont, St-Martin-de-Fugères, les Salles, les Rosières, du nom des villages à proximité desquels les sources jaillissent.

Le *Dictionnaire géographique de la France* par Joanne, mentionne ces sources : « St-Martin-de-Fugères, deux sources bicarbonatées ferrugineuses 16°, deux litres par minute ». Nous les trouvons aussi citées dans le précis d'hydrologie, de géologie et de minéralogie des professeurs Jadin et Astruc « St-Martin-de-Fugères plus fortement minéralisées (2 gr. 80 environ) avec 2 grammes environ de bicarbonate de Sodium ».

Bonnefont est un petit hameau situé au fond de la profonde vallée creusée par la Loire dans le granit en aval du village de Goudet. On y accède très difficilement par un sentier qui partant des Salles descend jusqu'à la Loire.

Ces sources semblent avoir été connues depuis très longtemps. Nous nous sommes efforcé, par des recherches dans les ouvrages d'histoire locale, de retrouver l'époque à laquelle ces eaux commen-

cèrent à être connues. Nous les trouvons citées pour la première fois dans les Mémoires de Monsieur Aulanier, curé du Brignon en 1640. « Ce jour 26 Juin 1642 M. Aulanier envoya son clerc au château de Soubrey porter d'eau de la bonne fontaine (*sic*) à M. le Baron ». « Ce jour 6 Août 1654 M. Jean Dupont, notaire et greffier de St-Vidal, vint prendre les eaux salubres des Salles. En 1653 c'est Monsieur le marquis de Polignac qui « estait logé à Roys pour prendre les eaux ». Ce jour 3 Août 1661 M. Chastainier, religieux de la Chaize Dieu « beuvant les eaux des Salles » rendit visite à M. Aulanier ainsi que M. Reymond Peyret du Puy « beuvant aussi ces eaux ». Ce jour 4 août 1661 M. le juge des Olières prend les eaux salubres des Sales pendant 9 ou 10 jours ». En 1674 M. le curé Chastainier se trouvait aux Sales pour boire les eaux salubres » (1).

Il ressort de ces diverses citations qu'au milieu du xvii^e siècle les sources de Bonnefont étaient non seulement connues dans la région mais que leur réputation s'étendait puisque l'on venait d'assez loin y faire une saison.

A l'heure actuelle ces sources sont tombées dans l'oubli, seuls les habitants des régions avoisinantes y viennent puiser de l'eau.

Avant la guerre il y eut de nombreuses tentatives d'exploitation. Les points d'émergence se trouvant

(1) *Petites éphémérides vellaviennes*, par l'abbé Peyrard, curé de Cayres 1889, pages 205-394 272-273-290-265-268.

dans le lit même du fleuve, ou à proximité il a fallu pour les protéger, procéder à des travaux très importants, dont il ne reste que des ruines. Aussi les sources de la rive gauche du fleuve sont complètement recouvertes, et il est impossible d'en recueillir de l'eau, seules celles de la rive droite sont encore praticables, car elles sont un peu plus loin de la Loire et mieux protégées par une petite maison en pierre. A droite en entrant, à quelques centimètres au dessus du sol, la source jaillit par intermittence, se recueille dans un petit bassin en ciment puis de là ruisselant sur le sol se perd à travers les gallets.

M. Baldit au cours de ses recherches sur la radioactivité des eaux minérales du Velay étudia ces sources et signala dès 1910 la radioactivité intéressante des dépôts ferrugineux laissés par ces eaux. Monsieur Baldit eut la très grande amabilité de nous faire part de ses travaux sur lesquels nous reviendrons plus loin.

En octobre 1925 par une belle journée, après une période de froid sans pluie ni neige nous nous sommes rendu à Bonnefont. La Loire est assez forte et submerge complètement les sources de la rive gauche. C'est donc seulement sur celles de la droite que nous avons fait nos recherches. Monsieur Baldit signale deux points d'émergence dans la petite maison, nous n'en avons retrouvé qu'un seul, celui situé immédiatement à droite en entrant. Le débit de cette source est très irrégulier, l'eau jaillit par intermittence à intervalles très rapprochés. Elle

donne environ 7 litres à la minute, la température est de 13°/.

L'eau est très claire, inodore, saveur très agréable, fraîche et piquante. Au bout de quelques instants de repos, elle laisse déposer une boue rougeâtre, boue qui recouvre du reste le sol de la maisonnette et que nous avons recueillie par grattage.

Nous avons pu retrouver deux analyses chimiques de cette source. La première qui date de 1826 a été faite par Monsieur Arnaud aîné, elle porte sur une source de la rive gauche, la méthode d'analyse employée étant celle de Monsieur Fourcroy.

Substances fixes : total 28 grains 10/12 par pinte, se décomposant ainsi :

Sous carbonate de soude.....	21 grains	$\frac{11}{12}$
Carbonate de chaux	2 grains	$\frac{11}{12}$
Hydrochlorate de soude.....	1 grain	$\frac{8}{12}$
Hydrochlorate de magnésie	1 grain	$\frac{4}{12}$
Sulfate de chaux	0 grain	$\frac{7}{12}$
Oxyde de fer	0 grain	$\frac{4}{12}$
Silice	0 grain	$\frac{1}{12}$
Gaz carbonique libre		$\frac{4}{8}$ du volume

de l'eau.

Monsieur Arnaud range cette source dans la caté-

gorie des martiales d'après la classification de M. le Roy, professeur à la Faculté de Montpellier.

L'analyse de cette eau lui donne la composition suivante :

Composition par litre en milligrammes	
Acide carbonique libre.....	1.160
Bicarbonate de soude.....	2.088
Bicarbonate de chaux	308
Bicarbonate de magnésie...	169
Bicarbonate de fer.....	10,5
Bicarbonate de lithine.....	3,7
Chlorure de sodium	196
Chlorure de potassium.....	28
Sulfate de soude.....	25
Alumine.....	traces
Matières organiques.....	traces
Silice.....	88

Soit un total de 4.066,2 mmgrs
de principes minéralisateurs par litre.

Nous avons nous-même procédé à l'analyse de la source de Bonnefont située sur la rive droite du fleuve. Voici les résultats que nous avons obtenus :

Composition par litre en milligrammes.	
Acide carbonique libre.....	1 ^{er} 19
Nitrites.....	néant
Nitrates.....	néant
Chlorures en NaCl.....	232
Chaux en Co^3Ca	250

Silice.....	84
Fer.....	10
Matières organiques.....	1,9
Extrait sec à 100-110°.....	2600
Extrait sec à 180°.....	2450
Extrait au rouge.....	2250
Alcalinité permanente 342 cm ³ de soude N/10.	
Alcalinité totale 420 cm ³ de soude N/10.	

M. A Baldit étudia, vers 1910, la radioactivité des eaux de Bonnefont. Bien qu'ancienne, nous ne saurions passer son étude sous silence. D'après l'auteur, la radioactivité des eaux de Bonnefont est extrêmement faible, celle des sources de la rive droite étant environ deux fois plus forte que celle des sources de la rive gauche, ce qui dénoterait chez ces dernières une infiltration d'eau naturelle qui abaisse leur teneur en émanation.

« Mais l'intérêt principal des eaux de Bonnefont réside dans le dépôt ferrugineux que l'on peut recueillir sur les bords de l'orifice d'où jaillit la source de la rive droite. Ce dépôt est très nettement radioactif. Examiné par M. Baldit à plusieurs reprises, pendant deux années, il décela au début une radioactivité considérable du dépôt encore humide; mais cette radioactivité diminua, et le dépôt sec finit par garder une radioactivité constante » (1).

(1) A. Baldit. *Recherches sur la radioactivité des sources minérales du Velay.*

L'eau de Bonnefont est donc des plus intéressantes. Par ses caractères chimiques elle ressemble aux autres eaux du département et peut se classer parmi les bicarbonatées mixtes ferrugineuses, mais par le caractère de son dépôt nettement radioactif, elle acquiert une importance tout à fait spéciale. Il est simplement regrettable que son isolement, loin de toute route fréquentée, et surtout son accès très pénible en rende l'exploitation si difficile.

LES PANDRAUX

La source hydro-minérale des Pandraux est située sur la rive gauche d'un petit ruisseau, affluent de la Gagne, à proximité du village des Pandraux, commune de Saint-Germain-Laprade.

Elle jaillit du granit, au fond d'une profonde vallée, très encaissée ; elle coule du rocher directement dans une citerne en ciment abritée par une petite maison en pierre. Là, elle se décante et on la tire à l'aide d'un robinet. Connue depuis longtemps elle est très estimée, et bien que non exploitée à l'heure actuelle, nombreux sont ceux qui viennent y puiser.

C'est une source froide, température au griffon 10°, débit 1.000 litres en 24 heures. L'eau est fraîche, inodore, de saveur agréable, elle est très fortement gazeuze.

A côté de cette source nous avons remarqué

quelques autres points d'émergence de sources hydrominérales pouvant être captées facilement.

Nous citerons pour mémoire l'analyse faite en 1826, par M. Arnaud :

Carbonate de chaux.....	7 grains
Hydrochlorate de chaux...	1 grain $\frac{18}{24}$
Hydrosulfite de soude.....	1 grain $\frac{2}{24}$
Sous carbonate de soude..	0 grain $\frac{16}{24}$
Sulfate de chaux.....	0 grain $\frac{5}{24}$
Oxyde de fer.....	0 grain $\frac{7}{24}$

Soit..... 11 grains de substances fixes par pinte.

Gaz carbonique : $\frac{1}{9}$ du volume de l'eau.

Nous ne trouvons citée cette source ni dans le *Dictionnaire* de Joanne ni dans le *Précis d'Hydrologie* de MM. les professeurs Jadin et Astruc bien que cette source soit une des plus connues du département surtout dans la région du Puy.

D'après l'analyse chimique faite au laboratoire municipal de Saint-Etienne et que M. Gagne, propriétaire de la source, a bien voulu nous communiquer, cette eau a la composition suivante :

Composition par litre
en milligrammes

Acide carbonique libre....	1751,2
Bicarbonate de soude....	2004,7
Silice	32
Chaux	166,4
Oxyde de fer et alumine...	24
Magnésie.....	10,8
ClNa.....	104,3
Oxyde de fer en suspension.	11
Soit une minéralisation totale	—————
de	4104,4 par litre.

D'après nos recherches personnelles nous avons trouvé :

Alcalinité totale : 305cm³ de soude N/10 par litre au méthylorange

Alcalinité permanente : 187cm³ de soude N/10 par litre au méthylorange

Extrait sec à 100-110°..... 2^{gr}.435

Degré hydrotimétrique total : 11°.

Degré hydrotimétrique permanent : 9°

L'eau des Pandraux peut donc se classer parmi les bicarbonatées sodiques, ferrugineuses. D'un goût très agréable, elle constitue une eau de table excellente. Grâce à sa minéralisation assez forte et à sa teneur assez élevée en bicarbonate de soude, elle pourrait être employée dans le traitement des affections de l'estomac.

SOURCE de SERVILLE ou de MARGEAIX (près Beaulieu)

Les eaux minérales de Serville jaillissent sur la rive droite de la Loire dans la plaine de Lamblaves en amont de Vorey. Quoique d'organisation déjà ancienne le captage de la source est fait dans de bonnes conditions. Le griffon est exactement au niveau du fleuve mais des travaux de défense effectués en 1884 le mettent complètement à l'abri des crues même importantes de la Loire. On accède à la source ainsi placée dans le sous-sol par un large escalier. Elle est bien abritée à l'intérieur d'un vaste bâtiment où se fait la mise en bouteille.

L'eau de Margeaix vient du granit à quelque distance d'un filon de granulite (A. Baldit), elle s'écoule directement au robinet sans avoir séjourné dans aucun réservoir. Elle est fraîche, limpide, inodore, de saveur agréable. Sa température est de 14° et le débit environ 3 litres par minute.

Au cours de travaux effectués à Margeaix, on a découvert des poteries et des pièces de monnaie de l'époque romaine et tout laisse prévoir que la source fut parfaitement connue des romains, d'où le nom de « Source Romaine » sous lequel elle est déclarée.

Monsieur Arnaud cite la source de Serville dans son compte rendu à la Société académique, il lui donne la composition suivante :

Sous carbonate de soude. . .	34 grains par pinte
Sous carbonate de magnésie.	2 grains $\frac{1}{8}$

Hydrochlorate de magnésie.	4 grains
Sulfate de chaux.....	1 grain $\frac{5}{8}$
Oxyde de fer	0 grain $\frac{3}{8}$
Soit un total de.....	42 grains $\frac{1}{8}$

de substances fixes.

La quantité d'acide carbonique libre pouvant être évaluée à 1/12 du volume de l'eau.

Cette source a été déclarée et autorisée par l'État en 1885.

D'après l'analyse officielle elle contient par litre.

Composition par litre en milligrammes	
Acide carbonique libre.....	913,8
Bicarbonate de soude.....	2.727
Bicarbonate de chaux.....	266,4
Bicarbonate de magnésie.....	207,2
Protoxyde de fer	5,9
Bicarbonate de lithine.....	5,4
Bicarbonate de potasse.....	96,9
Sulfate de potasse	24,3
Cl Na.....	338,3
Silice	77

Soit une minéralisation totale de. 4.662,2

Nos recherches personnelles ont porté sur de l'eau achetée dans le commerce au Puy, nous avons trouvé :

Degré hydrotimétrique total : 31°.

Degré hydrotimétrique après précipitation par l'oxalate d'Am 7°.

Degré hydrotimétrique permanent : 1°5.

Degré hydrotimétrique permanent après précipitation par l'oxalate d'Am : 1°5.

Alcalinité totale au méthylorange 463^{cm³} de soude N/10 par litre.

Alcalinité permanente au méthylorange 371^{cm³} de soude N/10 par litre.

L'eau de Serville est donc une eau bicarbonatée sodique, calcique et magnésienne, elle constitue une excellente eau de table, et c'est du reste comme telle qu'elle est employée au Puy et dans la région. Étant donnée cependant sa teneur assez forte en bicarbonate de soude, elle pourrait être employée avec succès dans les affections de l'estomac.

SOURCE MANTOUR

Bas-en-Basset

Cette source est située à 1 km. environ de Bas-en-Basset, sur les bords d'un petit ruisseau affluent de la Loire. C'est une source froide 15°, débit 2 litres à la minute. Elle sort du granit

Nous la trouvons citée dans le *Précis* d'hydrologie, de géologie et de minéralogie des professeurs Jadin et Astruc, et dans le *Dictionnaire géographique* de Joanne. Captée et exploitée autrefois, elle est complètement délaissée et nous n'avons pu malgré toutes nos recherches nous procurer l'analyse officielle de cette

source. Nous nous sommes contenté de reproduire ici les résultats de notre étude personnelle. Cette étude a porté sur de l'eau que notre excellent ami et confrère R. Heitzler, pharmacien à Monistrol a bien voulu nous procurer.

Degré hydrotimétrique total : 7°/.

Degré hydrotimétrique après précipitation par l'oxalate d'Am : 1°/.

Degré hydrotimétrique permanent : 3°/.

Alcalinité totale au méthylorange 12^{cm3} de soude N/10 par litre.

Alcalinité permanente au méthylorange 11^{cm3} de soude N/10 par litre.

Composition par litre
en milligrammes

Extrait sec à 100-110°.....	120
Extrait sec à 180°.....	80
Chlorures en NaCl.....	5
Sulfates.....	traces
Silice.....	10
Fer en bicarbonate.....	37
Calcium en bicarbonate.....	38

L'eau est fraîche, de saveur agréable. Très limpide au début elle ne tarde pas à laisser un dépôt brunâtre assez abondant.

La source de Bas est bicarbonatée calcique ferrugineuse, à minéralisation très faible 200 mmgrs seulement par litre.

Il existe encore dans la même région près du hameau des Peyrousettes à peu de distance de la Chapelle-d'Aurec une source froide, peu minéra-

lisée, peu gazeuse mais donnant un dégagement sulfureux très prononcé. Autrefois elle était très employée dans le traitement de certaines dermatoses ou elle aurait agi avec succès. Aujourd'hui elle est complètement délaissée et reste abandonnée. Elle jaillit du granit.

SAINT-PAUL-DE-TARTAS

Saint-Paul-de-Tartas est situé sur les confins du département de la Haute-Loire à proximité de la Lozère et de l'Ardèche, sur la route de Pradelles au Monastier par Alleyrac. Les sources hydro-minérales se trouvent à 5 km. environ de St-Paul-de-Tartas, au creux d'un ravin profond d'accès facile, au lieu dit de Montbel commune de St-Arcons-de-Barges.

Ces sources sont citées dans le *Dictionnaire* de Joanne : « Saint-Paul-de-Tartas, quatre sources bicarbonatées froides, débit faible, ensemble 4 litres par minute » et dans le *Précis* d'hydrologie, de géologie et de minéralogie des professeurs Jadin et Astruc (édition 1920) « Saint-Paul-de-Tartas, bicarbonatée sodique avec 0 gr. 52 de bicarbonate de sodium ». Avant la guerre ces sources étaient la propriété de M. Valéry du Puy ; bien captées elles étaient exploitées et vendues dans la région sous le nom générique d'eaux minérales naturelles de Montbel, chacune d'entre elles ayant un nom spécial : Eugénie — Ernestine — Céline et St-Louis.

Aujourd'hui, après plusieurs années d'abandon complet, il ne reste que des ruines de tous les travaux entrepris autrefois, ruines au milieu desquelles coule le petit ruisseau de Montbel.

Dans une petite maison en pierre dont il ne subsiste que les quatre murs, dans le lit même du ruisseau, on retrouve assez facilement les points d'émergence des sources, malheureusement l'eau minérale se mélange de suite à l'eau du ruisseau, il est impossible d'en faire un prélèvement. Guidé par deux jeunes gens de St-Paul-de-Tartas qui avec une bonne volonté, dont nous sommes heureux de les remercier ici, nous ont servi de cicérone, nous avons pu identifier les sources. A gauche, en entrant dans la cabane, jaillit du rocher une source ferrugineuse, de débit très faible qui nous a été indiquée comme étant la source Ernestine, puis au centre on trouve la source St-Louis, paraissant la plus importante, et dont nous avons prélevé avec soins quelques échantillons et enfin, complètement noyées par l'eau du ruisseau, les sources Céline et Eugénie.

En dehors de la maison et sur la rive droite du ruisseau, nous avons remarqué une autre source minérale, jaillissant au milieu d'une prairie et se recueillant dans une petite cuvette naturelle. Le débit est très faible. Après avoir vidé complètement la cuvette nous l'avons laissée remplir à nouveau et nous avons prélevé un peu de cette eau.

Ces sources sortent du granit, elles sont froides, saveur piquante agréable, et très limpides.

Nous donnons ci-dessous la composition moyenne

de ces eaux, telle qu'elle est donnée par les analyses officielles que M. Borelly, a bien voulu nous communiquer.

Analyse de l'École des mines de Paris.

Composition par litre en milligrammes	
Résidu fixe.....	720
Acide carbonique libre....	1.268
HCl.....	7,4
So ⁴ H ³	7,1
Silice.....	78,2
Protoxyde de fer.....	15,4
Chaux.....	46
Magnésie.....	67,2
Potasse.....	25,1
Soude.....	228,2
Matières organiques.....	3,6
Lithine.....	traces notables
Minéralisation totale.....	3.220,6

Presque toutes les bases se trouvant à l'état de bicarbonate.

*Analyse plus récente de M. Mazade,
chimiste à Lyon.*

Composition par litre en milligrammes	
Résidu fixe.....	820
Azote.....	22,2
Oxygène.....	5,6
Acide carbonique libre....	2.048,5
So ⁴ H ²	7,4

HCl.....	7,5
Soude.....	274,8
Potasse	35,2
Chaux	55,4
Magnésie.....	62,5
Fer.....	17
Manganèse	4
Silice.....	80
Alumine	5,4
Lithine	traces notables
Total.....	3.445,4

Étant donné l'état actuel des sources, toute étude nous a paru inutile. Nous donnons les résultats des quelques recherches que nous avons faites :

Alcalinité totale	130 ^{cm3} de soude N/10 par litre
Alcalinité permanente	100 ^{cm3} de soude N/10 par litre
Degré hydrotimétrique total.....	32°/
Fer	9 mmgrs.
Silice	65 mmgrs.
Nitrites.....	néant
Nitrates	néant
Matières organiques	4 mmgrs. 5

Et pour la source située en dehors de la maison :

Alcalinité totale	79 ^{cm3} de soude N/10 par litre
Alcalinité permanente	52 ^{cm3} de soude N/10 par litre
Nitrites	néant
Nitrates	néant
Matières organiques.....	3 mmgrs. 6

Nous croyons savoir que d'importants travaux d'aménagement vont être entrepris et que ces sources seront à nouveau captées et exploitées.

Ce sont des eaux bicarbonatées mixtes, gazeuses, légèrement ferrugineuses et surtout riches en silice. Elles étaient employées autrefois comme eau de table.

CEYSSAC

Dans la profonde vallée du ruisseau de Ceyssac, en aval du village et sur la rive gauche du ruisseau émerge une source d'eau minérale. Elle jaillit dans une sorte de cavité naturelle, puis s'écoule en un petit ruisselet, laissant déposer sur les rochers une boue rougeâtre.

Cette source n'est pas connue depuis très longtemps. Monsieur Baldit n'en signala la présence qu'en 1925. Aujourd'hui les gens de Ceyssac viennent en puiser volontiers car elle est très agréable. Elle est claire, saveur fraîche un peu piquante, gazeuse, incolore, très limpide au début, elle ne tarde pas à laisser un dépôt assez abondant.

Le débit de la source est assez difficile à mesurer, l'eau jaillissant du sol sablonneux, mais il ne paraît pas être très abondant. Nous en avons pris la température qui est de 15°, la température ambiante étant ce jour-là aux environs de la source de 12°.

Il n'existe pas à notre connaissance d'analyse chimique de cette eau. Il faudrait au préalable,

aménager la source et la soustraire à toutes les causes de pollution : infiltrations d'eaux étrangères, etc.

Nous nous sommes efforcés cependant dans des recherches rigoureusement personnelles d'établir la nature des éléments chimiques contenues en quantité notable dans ces eaux et à cette analyse qualitative nous avons ajouté le dosage des principaux éléments minéralisateurs.

Analyse qualitative

Nitrites	néant
Nitrates.....	traces faibles
So ⁴ H ²	présence
HCl.....	présence
Fer.....	présence
Silice.....	présence
Potassium.....	traces
Sels solubles de calcium.....	traces
Sels solubles de magnésium...	traces
Sels insolubles de calcium	présence
Sels insolubles de magnésium.	présence
Arsenic	néant

Analyse quantitative

Composition par litre en milligrammes		
Matières organiques	{ en milieu acide...	3,80
	{ en milieu alcalin.	1,40
Azote ammoniacale.....		4
Azote albuminoïde		1/8
Acide carbonique libre et demi-combiné		1.222

Chlorures en NaCl.....	760
Fer (oxyde).....	10,5
Silice.....	45
Calcium.....	220
Magnésie.....	170
Total.....	2.427,5
Résidu à 100-110°.....	1.700
Résidu à 180°.....	1.450
Alcalinité totale au méthylorange 133 ^{cm} ³ soude N° 10 par litre	
Alcalinité permanente au méthylorange 72 ^{cm} ³ de soude N° 10 par litre	
Degré hydrotimétrique totale.....	20

La source de Coyssac jaillit non pas du granit, mais du terrain sédimentaire quaternaire qui forme la vallée du ruisseau de Coyssac. Cependant des centres éruptifs se trouvent à proximité. M. A. Baldit étudia la radioactivité de cette source, et des déterminations faites en janvier et février 1923 ont été concordantes. La source de Coyssac est du reste située non loin des Estreys et a un site géologique semblable : marnes oligocènes et basalte.

Au point de vue chimique la source de Coyssac est une chlorurée bicarbonatée calcique et sodique légèrement ferrugineuse. Son principal intérêt réside dans sa radioactivité. Il est certain qu'à l'heure actuelle, elle contient une forte quantité de matières organique et d'azote ammoniacale, ce qui s'explique par les débris de toute sorte qui la souillent à l'émergence même. Pour se rendre compte de la nature exacte de cette eau et de sa minéralisation, il faudrait la capter.

SOURCE des ESTREYS

Près Le Puy

Cette source est située dans les environs immédiats du Puy, un peu au-dessus du village des Estreys sur la rive gauche de la Borne, affluent de la Loire. Elle sort au milieu d'alluvions modernes, dominées par une coulée basaltique quaternaire (A. Baldit).

Elle est connue depuis très longtemps et jouit, dans la région, d'une renommée qui s'est accrue durant ces dernières années.

En 1826, M. Arnaud lui donnait la composition suivante : (1)

Sous carbonate de soude...	10 grains	$\frac{6}{12}$
Hydrochlorate de soude.....	6 grains	
Carbonate de chaux.....	4 grains	$\frac{4}{12}$
Sous carbonate de magnésie.	1 grain	
Oxyde de fer.....	0 grain	$\frac{4}{12}$
Sulfate de chaux.....	0 grain	$\frac{4}{12}$
Hydrochlorate de magnésie..	5 grains	
Soit une minéralisation totale de	27 grains	$\frac{6}{12}$

Cette source figure dans le *Précis d'hydrologie, de géologie et de minéralogie* des professeurs Jadin et Astruc (II^e édition, Paris, 1920).

(1) Mémoire sur les eaux minérales de Margeaix, des Salles, des Estreys et des Pandraux (Annales de la Société d'agriculture, sciences, arts et commerce du Puy, année 1826, page 112).

M. A. Baldit en décela, le premier, la radioactivité et l'étudia de 1907 à 1910. M. le professeur agrégé, Nogier, reprit plus tard cette étude et, en 1921, détermina exactement la radioactivité. M. Lepape, chef du laboratoire de l'Institut d'hydrologie et de climatologie de Paris (Collège de France), a fait l'analyse des gaz d'émission de cette source. Notre excellent ami et confrère, A. Batisse, consacra, en 1925, sa thèse de doctorat en pharmacie à l'étude de cette source des Estreys, étude très complète : chimique, physique et bactériologique.

C'est à ce remarquable travail que nous avons emprunté tous nos renseignements, ne pouvant passer sous silence cette source qui se place, de par son importance, au premier rang des sources hydrominérales du département.

La composition chimique de l'eau des Estreys, d'après M. Batisse, est la suivante :

Composition chimique

	Quantité par litre d'eau en milligrammes
Acide carbonique des carbonates....	488,5
Chlore	573
Brome	4
Acide sulfurique.....	31
Silice.....	58,5
Soude	733,1
Potasse	56,1
Chaux	214,9
Magnésie.....	134

Alumine et oxyde de fer.....	traces
Oxyde de manganèse et lithine.....	traces
Arsenic.....	traces
Matières organiques.....	néant
Acide borique et sulfhydrique.....	néant
Acide carbonique en sus des carbonates.....	104,5
Soit une minéralisation totale de....	3333,6

Composition calculée par litre

	en milligrammes
Chlorure de potassium.....	88,7
Chlorure de sodium.....	874
Bromure de sodium.....	5,1
Sulfate de soude.....	53,6
Bicarbonate de soude (en carbonate neutre).....	425,6
Bicarbonate de chaux (en carbonate neutre).....	383,5
Bicarbonate de magnésium.....	280,6
Silice.....	58,5
Alumine et oxyde de fer.....	traces
Oxyde de manganèse.....	traces
Arsenic.....	traces
Acide carbonique en sus des carbonates...	1040,5
Soit une minéralisation totale.....	3211,1
Extrait à 100°-110°.....	2320
Extrait à 180°.....	2185
Résidu au rouge.....	1972
Matières en suspension.....	40 à 50
Degré hydrotimétrique total.....	81°/
Degré hydrotimétrique permanent.....	23°/

Degré hydrotimétrique après traitement par l'oxalate d'ammoniaque.	40°/
Alcalinité totale au méthylorange	
218° de soude N/10 par litre.	
Alcalinité soluble au méthylorange	
53° de soude N/10 par litre.	
Chlorures et bromures (en sels d'argent)	1755,4
Chlorures alcalins.....	1471,8

Analyse des gaz dissous

	en milligrammes
Gaz carbonique.....	924
Oxygène	21,7
Azote et autres gaz exprimés en azote	87,9

Le captage actuel de la source est certainement défectueux ; il est probable qu'une certaine quantité d'eau se perd et le débit de 25 litres à la minute pourrait être notablement augmenté.

Analyse des gaz d'émission

Gaz carbonique.....	61,50 0/0
Oxygène.....	0,60 0/0
Azote et autres gaz.....	37,90 0/0

M. Lepape, directeur de l'Institut de climatologie et d'hydrologie du Collège de France, donne à ces gaz d'émission la composition suivante :

Anhydride carbonique.....	61,53 0/0
Oxygène.....	0,61 0/0
Gaz combustible.....	traces

Azote	37,44 0/0
Argon avec traces Krypton et Xenon...	0,29 0/0
Hellium avec traces de Neon	0,13 0/0

Propriétés physiques

La source des Estreys attire l'attention d'une façon toute spéciale par ses propriétés radioactives. D'après l'analyse faite par Monsieur le professeur Nogier en 1921 la radioactivité de cette source est de : 34 millicuries.

Au laboratoire Curie à l'Institut du Radium on trouvait en 1924 un chiffre un peu plus faible 33 millicuries. Une nouvelle analyse faite en mai 1925, par M. le professeur Nogier, révélait une radioactivité égale à 36,51 millicuries par litre.

Ainsi la source des Estreys jouit de propriétés radioactives intéressantes qui la font classer à une bonne place parmi les sources radioactives du monde et au troisième rang des sources radioactives françaises.

La température de l'eau au griffon est de 13°/ et d'après M. Batisse ses constantes physiques sont :

PH de l'eau (méthode colorimétrique)....	6,4
PH de l'eau (méthode potentiométrique) .	6,45
Indice de réfraction	1,3334 à 16°5
Point cryoscopique	0°16
Résistivité électrique	300 Ohms à 20°/

Analyse bactériologique

50 Colibacilles	par litre
610 Colonies bactériennes	par cm ³ d'eau dont :
5 Liquéfiants chromogènes	

5 Liquéfiants non chromogènes

0 non liquéfiant chromogène

600 non liquéfiant non chromogènes.

Les résultats de l'analyse bactériologique ne sauraient étonner, l'eau étant captée dans des conditions très défectueuses, elle se souille dès sa sortie du griffon.

En résumé cette source est des plus intéressantes. D'après sa composition chimique nous pouvons la classer parmi les eaux chlorurées, bicarbonatées mixtes à thermalité faible. Il est certain que par des travaux de captage bien compris, la mettant à l'abri de toute pollution, l'analyse bactériologique lui donnera les caractères d'une eau très pure, qu'elle n'a pas à l'heure présente.

LA SOUCHEYRE-LES-BAINS

Près du petit village de la Soucheyre, dans le canton de la Chaise-Dieu, sur la ligne de Sembadel à Craponne, au fond d'une gentille vallée où commence la Dore, il existe un centre d'émergence d'eaux minérales assez remarquable. En effet, plusieurs sources connues depuis longtemps y jaillissent, ce sont les sources « Ancienne » « Séraphine » « Ligonie » et quelques autres dont la source « Valentin » non encore captées, mais dont les natures doivent être très voisines. Toutes ces eaux sont à thermalité faible 8° environ.

Monsieur Joyeux dans son rapport fait à la

Société Académique de la Haute-Loire en 1826, donne de nombreux détails sur une de ces sources :

« Il existe, dit-il, près du hameau de la Soucheyre, canton de la Chaise-Dieu, plusieurs sources d'eaux minérales, paraissant avoir une origine commune qui sourdent dans un terrain granitique, appartenant par la simplicité de sa composition à la formation généralement reconnue comme la plus ancienne. Sur les trois principaux points où les eaux se montrent avec le plus d'abondance, les propriétaires ont construit des réservoirs qu'ils ferment à clef afin d'en tirer un certain tribut. Deux de ces sources ont été abandonnées depuis quelque temps ; la troisième qui paraît plus considérable se trouve placée entre les deux autres au bord d'une prairie et au pied d'un coteau couronné par un bois de pins ». Monsieur Joyeux donne ensuite une description détaillée de cette source qui est captée dans un grand bassin recouvert d'une voûte. L'espace est très étroit et étant donné le très fort dégagement de gaz carbonique, l'atmosphère est difficilement respirable. L'auteur le compare à la grotte du chien près de Pouzols, au puits de Pérols près de Montpellier, à celui de Neyrac et au fameux lac Averné où Virgile a placé l'entrée des Enfers.

L'eau du bassin, bouillonne d'un façon continue, elle est inodore, d'aspect un peu louche, mais par le repos elle acquiert une limpidité parfaite.

Sa température est de 14°, celle de l'atmosphère ambiante étant ce jour-là de 19°. Sa pesanteur spécifique est à peu près celle de l'eau.

M. Joyeux a procédé ensuite à l'examen chimique de cette eau :

La teinture de tournesol est rougie ainsi que l'infusion aqueuse de mauve.

L'acide sulfurique concentrée donne un dégagement considérable de bulles.

Le nitrate d'argent et le mercure la troublent légèrement.

La solution de sous acétate de plomb a produit un précipité blanc abondant ainsi que l'eau de baryte et l'eau de chaux.

D'après l'action de ces réactifs, l'auteur conclut à une quantité abondante de gaz carbonique et des hydrochlorates et carbonates en petite quantité.

Voulant s'assurer si le gaz carbonique qui se dégage de l'eau n'était point mêlé à d'autres substances gazeuses, l'auteur essaya d'en recueillir une petite quantité à l'aide d'un flacon renversé sur la table de l'appareil pneumo-chimique. Cependant il ne put malgré plusieurs essais mettre son appareil en place à cause de la gêne ressentie par suite du dégagement de gaz carbonique.

Deux kilogrammes d'eau évaporés jusqu'à siccité sans que la température dépasse 60° laissent un résidu de 2 grains (0^{gr}1). Ayant dissout ce résidu, M. Joyeux l'a trouvé composé d'hydrochlorate de magnésie, de carbonate de chaux et de magnésie.

En résumé il donne comme composition de cette eau :

Gaz carbonique en poids....	20 grains	1060 ^{mmgrs}
Gaz carbonique en volume..	30 pouces	595 ^{cm3}

Hydrochlorate de magnésie..	1/100000
Carbonate de chaux.....	1/100000
Carbonate de magnésie.....	1/100000

Soit une minéralisation extrêmement faible.

Aujourd'hui trois sources seulement sont captées et exploitées ce sont les sources « Ancienne » « Séraphine » et « Ligonie ».

Sources « Ancienne et Séraphine »

Ces deux sources sont situées un peu au dessus de l'établissement de bains de la source Ligonie. Les bassins dans lesquels elles sont recueillis sont abrités sous un même bâtiment.

Les eaux de ces sources ont été captées à l'aide d'un forage de 48 m. de profondeur et de galeries ouvertes dans le gneiss partiellement décomposé.

Le débit de la source Séraphine est environ de 10 litres 500 par minute. Sa température est de 8°/.

Par suite de travaux d'aménagement actuellement en cours nous n'avons pas pu opérer de prélèvement de ces eaux. Nous nous contenterons de reproduire ici les analyses les plus récentes qui en ont été faites :

Analyse de l'Ecole des Mines de Paris

	Quantité pour 1 litre d'eau en milligrammes	
	Source ancienne	Source séraphine
Résidu fixe.....	88	65
Acide carbonique libre.....	1951	1387
Acide des carbonates.....	51	42

	Source ancienne	Source séraphine
Acide chlorydrique.....	5,1	3
Acide sulfurique.....	7,9	3,9
Silice.....	12	10
Protoxyde de fer.....	20,3	17,8
Chaux.....	17,2	12,4
Magnésie.....	3,6	2,5
Potasse.....	traces	traces
Soude.....	4,3	2,6
Matières organiques.....	2,5	2,2
Minéralisation totale.....	2074,9	1484,2

Composition hypothétique calculée

	Source ancienne	Source séraphine
Acide carbonique libre.....	1951	1387,6
Silice.....	12	10
Bicarbonate de chaux.....	30,1	22,1
Bicarbonate de magnésie...	15	79
Protoxyde de fer.....	45,1	39,4
Sulfate de chaux.....	13,4	6,3
K Cl.....	traces	traces
N ₂ Cl.....	8,1	4,9
Matières organiques.....	2,5	2,2
Total.....	2073,7	1483,5

*Analyse plus récente de Monsieur Chevalier
à Clermond-Ferrand*

	Quantité par litre en milligrammes	
	Source ancienne	Source séraphine
Anhydride carbonique.....	672	1180
Silice	53	18
Anhydride sulfurique.....	5	15
Chlore	6	10
Fer.....	11	133
Calcium.....	14	4
Potassium.....	traces	traces
Sodium.....	traces	124
Magnésium.....	2	2
Aluminium.....	traces	traces
Extrait sec à 100°.....	116	760
Matières organiques.....	traces	traces

Groupeement hypothétique des éléments

	Source ancienne	Source séraphine
Acide carbonique libre.....	618	749
Bicarbonate de sodium.....	traces	398
Bicarbonate de potassium...	traces	traces
Bicarbonate de calcium.....	56	16
Bicarbonate de magnésium..	12	12
Bicarbonate de fer.....	35	421
Sulfate de soude.....	9	27
N _a Cl	10	16
Silice	53	18

Monsieur Huguet, professeur de chimie à l'École de Médecine et Pharmacie de Clermont fit en mai 1908 l'examen bactériologique de ces eaux, examen qui donna les résultats suivants :

Source séraphine	{	2 micrococcus albus
		2 — citrus
		2 — aurantiacus
		2 moisissures
		0 colibacille
		0 bacille typhique
Source ancienne	{	2 moisissures
		10 microcoques d'espèces bana-
		les.
		0 colibacille
		0 bacille typhique

Source Ligonie

La source Ligonie jaillit un peu en dessous de l'établissement thermal. Elle est recueillie dans un bassin en ciment et de là conduite dans un petit pavillon en bois ou elle coule par des robinets placés sur les trois côté d'une borne quadrangulaire. L'écoulement de l'eau est continu et le débit assez important, les trois robinets donnant ensemble 7 litres 750 par minute.

L'eau est fraîche, claire, saveur piquante agréable, avec un léger goût de fer. A la longue elle laisse un dépôt rougeâtre abondant, riche en fer.

La composition de l'eau d'après l'analyse officielle est la suivante :

	Quantité par litre en milligrammes
Acide carbonique libre	1.950
Silice	160
Bicarbonate de chaux.....	109,5
Protoxyde de fer	45
Chaux	10,5
Magnésie.....	28,8
Potasse	traces
Soude.....	73
Matières organiques.....	2
Total.....	<u>2.378,8</u>

Nous en avons pris les différents degrés hydrotimétriques qui nous ont donné les résultats qui suivent :

Degré hydrotimétrique total.....	66°
— — — après précipitation par l'oxalate d'Am.....	37°
Degré hydrotimétrique permanent.....	4°
— — — après précipitation par l'oxalate d'Am.....	1°

Les eaux de la Souheyre sont de composition à peu près semblables. Elles peuvent se classer dans le groupe des bicarbonatées mixtes ferrugineuses. Lorsque les travaux d'aménagement seront terminés, que toutes les sources seront bien captées, la Souheyre deviendra une station thermale des plus intéressantes.

SOURCE RICHARD

(Près de Sembadel)

La source Richard se trouve non loin de la station hydrominérale de la Soucheyre que nous venons d'étudier. Elle jaillit à proximité de la route reliant Sembadel gare à Sembadel bourg. Elle sort du granit gneissique près de la limite qui sépare ce terrain du gneiss granulitique (A. Baldit). Elle est recueillie dans un réservoir en ciment protégé par une petite maison de construction récente.

Monsieur Baldit en signala la radioactivité assez forte, et elle fait partie des quatre sources radioactives du département se plaçant sur le même alignement.

Le bouillonnement de l'eau est continu, dû à un gros dégagement de gaz carbonique, et l'eau coule par saccades ; le débit est faible 2 litres par minute, la température de l'eau au griffon est de 7°.

L'eau est très limpide au début mais ne tarde pas à laisser déposer des flocons ferrugineux ; elle est gazeuse, inodore, de saveur agréable, léger goût de fer.

Sa composition chimique est la suivante :

	Par litre en milligrammes
Bicarbonate de chaux.....	471,44
Bicarbonate de magnésie.....	345,98
Silice.....	68
Fer.....	6

Sulfates.....	néant
Chlorures	traces
Alcalinité soluble en bicarbonate de soude.	19,08
Total.....	910,5

C'est donc une eau très faiblement minéralisée, bicarbonatée calcique et magnésienne, non chlorurée très légèrement ferrugineuse. Elle est surtout employée comme eau de table, et très répandue dans la région.

Sur de l'eau prélevée par nous-même lors d'une visite, nous avons fait quelques recherches qui nous ont donné les résultats suivants :

Degré hydrotimétrique total.....	48°5
— — après précipitation par l'oxalate d'Am.....	37°
Degré hydrotimétrique permanent.....	4°
— — après précipitation par l'oxalate d'Am.....	2°5
Acide carbonique libre.....	172 ^{cm³} 3
Alcalinité totale 129 ^{cm³} de soude N/10 par litre.	
Alcalinité permanente 41 ^{cm³} de soude N/10 par litre.	

Monsieur le professeur Nogier examina cette source au point de vue radioactif. Les mesures effectuées donnent une moyenne de 7,74 millimicrocuries par litre à l'émergence. Ce chiffre serait sensiblement un peu plus élevé si les mesures avaient pu être faites sur l'eau dès sa sortie du rocher ; car il se produit une légère perte par suite du stationnement de l'eau dans le réservoir.

Un peu au nord de Sembadel on trouve une autre source, celle de Charlette bicarbonatée gazeuse, au goût agréable, qui présente aussi une légère radioactivité. La mesure faite par Monsieur le professeur Nogier lui donne 1,08 millimicrocuries par litre à l'émergence.

SOURCE DES ORGUES

(Saint-Julien-des-Chazes)

Dans la vallée de l'Allier, en amont de Langeac, au moment où la rivière va sortir de ses gorges profondes pour entrer dans la plaine, nous trouvons un centre d'émergence de source hydro-minérales assez important : Prades-St-Julien-des-Chazes.

C'est un peu en dessous du point de jonction de deux petits ruisseaux : Le Monteil et le Legal affluents de l'Allier, au lieu dit le Riou que nous trouvons les sources de St-Julien-des-Chazes. Elles sortent du terrain volcanique (basalte du pliocène supérieur).

Sur la rive droite du Légal dans une anfractuosité du rocher sort une source très riche en fer, appelée source Amélie. Elle n'est pas captée.

C'est sur la rive gauche de ce même ruisseau que se trouvent les sources les plus importantes de la région. Gr ce à la très grande amabilité de M. A. Roux, propriétaire de ces sources que nous sommes heureux de remercier ici nous avons pu prélever

et examiner ces eaux. Il y a quatre points d'émergence parfaitement bien garantis à l'intérieur d'une petite maison, construite récemment sur les bords du Légal, et les protégeant de toutes infiltrations des eaux du ruisseau. Ces sources ont été captées au pied d'une de ces coulées basaltiques si fréquentes dans notre département et que l'on désigne sous le nom d'orgues. D'où la dénomination « Sources des Orgues » données à ces eaux.

Sur ces quatre sources deux ont été réunies, les deux autres n° 2 et 3 ne sont pas exploitées.

L'eau est fraîche, très limpide, inodore, saveur piquante très agréable.

Elle est mise en bouteille à la source même, et de là expédiée dans toute la région où son usage est très répandue.

Nous donnons ci-dessous les résultats de l'analyse chimique de ces quatre sources la première et la seconde étant réunies, analyse faite au laboratoire d'essais de Paris en 1897.

Composition par litre en milligrammes

	Source des Orgues 1-4	2	3
Acide carbonique { libre.....	1308	1080	1242.5
des bicarbonates.....	1228.9	894.1	1327.4
HCl.....	18	17.3	33.5
So ⁴ H ²	20	8.9	6.5
Acide azotique et arsénique.....	très faibles traces	faibles traces	faibles traces
Silice.....	71.7	82.3	68.5
Protoxyde de fer.....	5	23.1	8
Manganèse.....	faibles traces	faibles traces	faibles traces
Chaux.....	155.2	87.5	126.8
Magnésie.....	120	76	111
Lithine.....	traces sensibles	traces sensibles	faibles traces
Potasse.....	59	52.4	60.7
Soude.....	481.9	382.6	695.5
Matières organiques.....	traces	traces	traces
Total de la minéralisation.....	3449.7	2704.4	3680.4
Extrait sec à 180°.....	1500.3	1152.4	1732.8

Température de l'eau : 9 °.

Débit : 1 litre 500 environ à la minute.

Composition calculée

	Source des Orgues		
	1-4	2	3
Acide carbonique libre.....			
Silice.....	1308	1080.2	1242.5
Bicarbonate de chaux.....	71.7	82.6	68.5
Bicarbonate de magnésie.....	399	224.9	326
Bicarbonate de fer.....	384	243.2	233.1
Bicarbonate de manganèse.....	11.1	51.3	17.8
Bicarbonate de lithine.....	traces faibles	traces faibles	traces faibles
Bicarbonate de potasse.....	traces sensibles	traces sensibles	traces faibles
Bicarbonate de soude.....	114	101.3	117.4
Arseniate de soude.....	1125	873.4	1601.6
Azotate de soude.....	très faibles traces	très faibles traces	très faibles traces
Sulfate de soude.....	très faibles traces	très faibles traces	très faibles traces
Chlorure de sodium.....	3.6	15.8	11.5
Matières organiques.....	28.8	27.7	53.1
	traces	traces	traces
Total.....	3445.2	2700.4	3572.1

Nos recherches personnelles n'ont porté que sur les sources 1-4. Elles nous ont donné les résultats suivants :

Composition en milligrammes
par litre

Extrait sec à 100-110°...	1550
Extrait sec à 180°.....	1490
Alcalinité totale de l'eau..	308 ^{cm²} de soude N/10 par litre
Alcalinité permanente.....	165 ^{cm³} de soude N/10 par litre

Vérification de l'analyse. — Étant donné la date déjà ancienne de l'analyse officielle, nous avons pensé qu'il serait bon d'en vérifier les résultats. Pour cela, nous avons employé la méthode indiquée dans le *Précis* d'hydrologie, de géologie, de minéralogie des professeurs Jadin et Astruc. Nous avons traité le résidu à 180° d'un litre d'eau par l'acide chlorydrique pur pour transformer tous les bicarbonates en chlorures. Puis nous avons calciné au rouge en présence d'acide sulfurique. Ainsi, nous avons transformé tous les sels en sulfates. Nous avons pesé :

Poids total comprenant les sulfates, le fer et la silice : 2^{gr} 20.

Si nous réduisons par le calcul le poids des sels trouvés par l'analyse en sulfate, nous trouvons les poids suivants :

Sulfate de chaux.....	0 ^{gr} 527
Sulfate de magnésie.....	0 ,600
Sulfate de soude.....	0 ,850

Sulfate de potasse.....	0 ,130
A ces poids ajoutons : Fer...	0 ,005
Silice..	0 ,071

Nous obtenons un total de.... 2 ,183 ce qui est sensiblement le résultat obtenu en opérant directement.

L'eau de St-Julien-des-Chazes est donc une bicarbonatée mixte, chlorurée, légèrement ferrugineuse avec des traces d'arsenate.

Il existe en dehors de ces quatre sources et non loin d'elles, un autre groupe de sources que nous n'avons pas étudié.

EAUX MINÉRALES DE CLÉMENTSAT

Clémensat est un petit village de la commune d'Azérat canton d'Auzon, arrondissement de Brioude. Il doit son nom précisément à la présence des sources hydro-minérales « Clemens aqua ».

Ces sources se trouvent à 1 km. au sud du village qui domine le pittoresque torrent du Bois-Noir, affluent de l'Allier.

C'est tout au près de ce torrent du Bois-Noir à la lisière d'un bois de chênes appelé Bois du Prieur, qu'émergent à une altitude de 473 mètres, les sources minérales de Clémensat.

Les sources de Clémensat semblent avoir été connues dès l'antiquité. Une ancienne voie romaine, dont on retrouve quelques vestiges, voie qui lon-

geait la rive droite de l'Allier et qui porte les noms significatifs de Vio Sacro, Vio César, passait à moins de deux kilomètres des points d'émergence des sources. Lors des travaux entrepris pour le captage et l'aménagement des eaux minérales, on a mis à jour des monnaies romaines, ce qui porte à croire qu'à l'époque romaine ces sources étaient déjà connues.

Pendant longtemps, plusieurs siècles, elles appartinrent avec les terres environnantes au Prieuré des Bénédictins d'Azérat, qui dépendait lui-même de l'ancienne abbaye royale de la Chaise-Dieu. Au milieu du ^{xviii}^e siècle elles devinrent la propriété de la famille de Montchal, puis après 1830 le domaine tomba entre les mains des cultivateurs des environs, il fut complètement morcelé. Ce fut, en 1883, que M. Jean Casati se rendit propriétaire des sources, ainsi que des terres environnantes d'une superficie de plus de 18 hectares. Depuis elles restèrent la propriété de la famille Casati qui exploite les sources de Clémensat et de St-Géron que nous étudierons plus loin.

Ce fut en 1884 que furent commencés les travaux d'aménagement des sources ainsi que la construction d'un établissement hydrominéral qui ne fut pas achevé. La direction générale des travaux fut confiée à un ingénieur spécialiste M. Léon Duc, qui avait déjà procédé au captage des eaux de Spa, de Vichy, d'Enghien, de Vals, ainsi qu'au Caucase où il avait été demandé en 1881 par le gouvernement impérial de Russie.

Les sources émergeaient à la juxtaposition d'un filon de quartz et de baryte dans le lit même du torrent du Bois-Noir. Elles étaient au nombre de deux, à une distance de 26 mètres l'une de l'autre. Il fallait donc en premier lieu, détourner le ruisseau et capter les sources, de façon telle qu'elles soient complètement à l'abri de toutes infiltrations étrangères pouvant souiller ou changer la nature de l'eau.

On creusa une galerie voûtée permettant d'aller de la chambre de captage de la source principale ou source du Nord (source des Bénédictins) à celle non encore captée, source du Midi (source St-Robert). C'est au cours de la construction de cette galerie qu'on a mis à jour une troisième source, source St-Jean.

Les sources St-Jean et St-Robert très succinctement captées ne sont pas exploitées, seule la source des Bénédictins est déclarée et vendue, sous le nom actuel de source St-Odilon (du nom d'un Prieur de la Chaise-Dieu).

De nombreuses analyses de ces eaux ont été faites par M. H. Lecoq, professeur d'histoire naturelle de la ville de Clermont, par M. Bidart, membre du Conseil général d'hygiène public à Rouen, à l'École des mines de St-Étienne et enfin par M. Truchot, professeur de chimie à la Faculté des sciences de Clermont-Ferrand.

Nous citerons pour mémoire l'analyse faite en 1835 par Monsieur le professeur H. Lecoq. C'est la plus ancienne analyse de ces eaux que l'on ait pu

retrouver. Elle a été faite avant les travaux d'aménagement au moment où les sources étaient dans le lit même du ruisseau et par conséquent de l'eau douce devait se trouver mélangée à l'eau minérale.

L'examen de M. Lecoq porta sur les deux sources, celle se trouvant au Nord (aujourd'hui source St-Odilon) et celle se trouvant au Midi, source St-Robert. Voici les résultats de cette étude, nous les trouvons dans une lettre adressée par M. Lecoq à M. Charreyre, médecin à Lempdes (Hte-Loire).

« L'eau prise à l'aspect du Nord contient par litre :

Acide carbonique	son volume
Bicarbonate de chaux .	10 grains = 543 mmgrs
Bicarbonate de fer	5 grains = 271 mmgrs
Muriate de soude	3 grains = 163 mmgrs
Silice	traces

L'eau recueillie à l'aspect du Midi contient par litre :

Acide carbonique	son volume
Bicarbonate de chaux .	6 grains = 326 mmgrs
Bicarbonate de fer	4 grains = 217 mmgrs
Muriate de soude	4 grains = 217 mmgrs
Azote	traces
Silice	traces
Matières organiques . .	traces

Monsieur Lecoq ajoute ensuite : « Quant à la question que vous m'adressez pour savoir si ces eaux contiennent assez de principes médicamenteux pour être employées avec succès, je vous répondrai en vous priant d'examiner les analyses

des eaux de Spa (Belgique), d'Aumale (Picardie), de Forges (Seine-Inférieure) et de Pyrmont (Allemagne). Parmi ces eaux justement célèbres, les dernières contiennent bien moins de matières salines que celles que vous m'avez envoyées.

Aussi Monsieur; je pense que ces eaux méritent toute votre attention et qu'elles pourront par la suite acquérir de l'importance. En vous en occupant vous rendrez service au Pays que vous habitez, puisqu'on pourra peut être trouver dans ces sources une succursale de celles que j'ai mentionnées plus haut » (1).

L'eau de la source St-Odilon est parfaitement limpide, inodore, riche en acide carbonique. Sa température est de $10^{\circ} \frac{3}{4}$ et elle débite 2 litres 70 par minute.

L'eau de la source St-Jean, assez semblable à celle de St-Odilon est aussi limpide, sans odeur et chargée d'acide carbonique. Sa température est de $9^{\circ} \frac{1}{2}$ et son débit 0 litre 61 par minute.

Ajoutons le débit de la source St-Robert qui est de $\frac{1}{2}$ litre par minute et nous aurons pour les trois sources un débit total de 720 litres par 24 heures.

L'analyse la plus récente de l'eau de la source de St-Odilon a été faite en 1882 par M. Jean Truchot au laboratoire de chimie de la Faculté des Sciences de Clermont-Ferrand. En voici les résultats :

(1) Lettre de M. H. Lecoq, professeur d'histoire naturelle de la Faculté de Clermont à M. le docteur Charreyre, médecin à Lempdes (Hte-Loire), 3 juillet 1835.

Composition par litre
en milligrammes

Acide carbonique libre.....	2005
Bicarbonate de soude.....	1658
Bicarbonate de potasse.....	traces
Bicarbonate de chaux.....	359
Bicarbonate de magnésie.....	363
Bicarbonate de fer.....	31
Sulfate de soude.....	71
Posphate de soude.....	traces
Chlorure de sodium.....	33
Chlorure de lithium.....	8
Arseniate de soude.....	3
Silice.....	35
Matières organiques.....	2

Soit une minéralisation totale de. 4573

Nous nous trouvons donc en présence d'une eau bicarbonatée sodique et calcique mais surtout ferrugineuse et chose rare dans le département arsenicale.

D'un goût très agréable, elle est consommée dans toute la région de Brioude, mais cependant étant donnée sa composition, on lui préfère comme eau de table la source St-Géron dite source Gallo-Romaine, appartenant et exploitée aussi par M. Casati.

SAINT-GÉRON

Non loin de Clémensat et toujours dans la région de Brioude, nous trouvons une source hydro-minérale très connue, jaillissant près de St-Géron, petite commune du canton de Brioude.

La source semble avoir été connue du temps des Romains. Lors des travaux effectués pour l'aménagement de la source on a mis à jour trois anciens puits de captage dont l'origine n'est pas douteuse. L'un était en maçonnerie de forme semi-circulaire profond de 2 m. 40, les deux autres en bois très dur. De par leur structure même on est obligé de les attribuer aux Romains, et ce qui confirme cette opinion ce sont les nombreuses pièces de monnaies romaines, dont quelques-unes très bien conservées que l'on trouva à proximité du puits. Aussi est-ce à juste titre que l'on donna le nom de source Gallo-Romaine à la source de St-Géron.

En 1541, la source appartenait à Antoine Boulrier de Charriol, seigneur d'Alleret, Saint-Mary-le-Plain, Aurouze, St-Géron et Saint-Ponay. Vers la fin du xvi^e siècle elle est à François Boulrier de Charriol, seigneur de St-Géron. Puis dans le courant du xviii^e siècle elle devient la propriété de la famille de Miramont, seigneurs de St-Géron, de Paulhac et de Balsac.

Au début du xix^e siècle la propriété fut morcelée et la source appartint à divers propriétaires indigènes et en 1882, Monsieur Casati l'acheta ainsi que les

propriétés limitrophes pour assurer son périmètre de protection.

Au moment où M. Casati acquit cette source, elle émergeait sous une touffe d'arbres, presque au bas de la colline, au sommet de laquelle se trouve le village de Saint-Géron, sur le terroir au nom caractéristique de Fons Savade (Fontaine Salée). On la voyait bouillonner avec force dans une sorte de vasque creusée à la pioche par les habitants des environs qui en faisaient un usage journalier.

Les travaux de captage furent entrepris en 1885 ; pour arriver à l'origine même de la source, à sa sortie du rocher, on fit des fouilles qui nécessitèrent un déblai de plus de 800 mètres cubes de terrains. C'est au cours de ces fouilles que l'on trouva les antiquités romaines, dont nous avons parlé plus haut et c'est un peu en dessous des puits romains que l'on toucha le rocher, du gneisse gris du quel jaillissait la source, qui fut ainsi captée et aménagée avec soins.

L'eau est captée directement sur le rocher, à l'intérieur d'une chambre voûtée communiquant avec l'extérieur par une tranchée ouverte, partie dans le rocher et partie dans un terrain d'argile, bariolée superposé. L'eau est recueillie au griffon même dans un réservoir en maçonnerie rectangulaire de 2 mètres de large, sur 3 de long et 1 de haut, entièrement clos, portant sur sa face antérieure divers ajutages permettant de retirer l'eau minérale.

Le débit mesuré au tuyau déversoir est de 4 litres $1/4$ par minute.

La température est de 12°.

L'eau est parfaitement limpide, sans odeur et très riche en acide carbonique.

Nous reproduisons les résultats de l'analyse chimique de cette source faite en 1888 par Monsieur A. Carnot, ingénieur en chef des mines, directeur du bureau d'essai à Paris.

Composition par litre
en milligrammes

Acide carbonique libre.....	1712
Bicarbonate de soude.....	604
Bicarbonate de potasse.....	96
Bicarbonate de lithine.....	traces
Bicarbonate de chaux.....	686
Bicarbonate de magnésie.....	143
Bicarbonate de protoxyde de fer...	9,8
Sulfate de soude.....	19
Chlorate de soude.....	94
Silice.....	47
Matières organiques.....	traces

Soit une minéralisation totale de. 3410,8

L'analyse bactériologique fut faite en 1907 par le docteur Roux, professeur agrégé à la Faculté de médecine de Lyon et chef du laboratoire municipal de Lyon. Elle révéla la très grande pureté de l'eau au point de vue biologique :

- 0 colonies bactériennes par cm³.
- 0 coli bacilles
- 0 microbes pathogènes ou non.

De par sa composition chimique, la source de

St-Géron se classe parmi les eaux bicarbonatées mixtes ferrugineuses. Sa très grande pureté, sa saveur fraîche et agréable en font une eau de table très goûtée, et son usage est courant dans toute la région Brivadoise.

VÉZÉZOUX

La source hydrominérale de Vézézoux, comme celle de Clémensat et de Saint-Géron, appartient au groupe de Brioude. Nous la trouvons citée avec celle d'Azérat dans le *Précis* d'hydrologie, de géologie et de minéralogie des professeurs Jadin et Astruc (édition 1920).

« Vézézoux, Azérat, etc., ont une minéralisation évaluée à 5 grammes, avec 2 grammes de bicarbonate de sodium et plus de 600^{cm³} d'acide carbonique libre. L'emploi de ces eaux est comparable à celui des eaux du bassin de Vichy. »

Le *Dictionnaire* géographique de la France, publié par Joanne en 1896, la mentionne aussi : « Vézézoux, source du Cé, alcaline gazeuze, 10°, 4 litres par minute. »

Le source d'eau minérale de Vézézoux, dite source du Cé, se trouve près du hameau du Scay, à environ 1 kilomètre de Vézézoux. Elle jaillit sur le flanc et à mi-hauteur d'une petite colline et à proximité du ruisseau d'Estautonne, affluent de la rive droite de l'Allier. Elle est captée dans le rocher et la mise en bouteille se fait à la source même.

La température de l'eau au griffon est de 15° et le débit de la source 4 litres à la minute. L'eau est limpide, inodore, de saveur fraîche, piquante, très agréable.

Composition par litre
en milligrammes

Bicarbonate de soude.....	682,9
Bicarbonate de potasse.....	68,5
Bicarbonate de chaux.....	291
Bicarbonate de magnésie.....	522,8
Bicarbonate de fer.....	12,2
Bicarbonate de manganèse.....	0,9
Sulfate de soude.....	54
Phosphate de chaux.....	traces
Chlorure de sodium.....	17,3
Silice	69
Alumine.....	4,1
Matières organiques.....	traces
Soit un total des principes fixes de	<u>1722,7</u>
Acide carbonique.....	1200

La source du Cé est donc assez faiblement minéralisée, elle appartient au groupe des eaux bicarbonatées mixtes ferrugineuses. Très gazeuse, elle constitue une excellente eau de table et c'est surtout comme telle qu'elle est utilisée dans la région.

AUTRES SOURCES

Sous ce titre nous avons groupé quelques sources d'importance moindre ordinairement non captées et non exploitées, sur lesquelles nous n'avons pu recueillir que peu de renseignements.

Sources de la Roche-Rouge

Nous avons donné ce nom à ces sources, car elles jaillissent à 200 m. environ de la Roche-Rouge, énorme dyke rougeâtre de basalte d'une trentaine de mètres de hauteur perçant le granit.

Un peu en contre bas de la route qui va du Puy aux Pandraux, dans le lit même de la Gagne, affluent de la Loire, on trouve quelques points d'émergence d'une eau qui attire l'attention par le dépôt rougeâtre qu'elle laisse sur les pierres. Au fond d'une petite cuvette, sur le rocher même, à 1 mètre à peine de la rivière et au même niveau, on aperçoit par instants un léger dégagement de bulles de gaz et une faible quantité d'eau s'écoule, elle se recueille dans ce réservoir naturel, et le trop plein s'écoule dans la rivière.

Étant donné le débit très faible de cette source, et les conditions dans lesquelles elle jaillit, il est difficile d'en faire une étude très complète. Cependant il nous a paru très intéressant de déterminer rapidement la nature de l'eau au point de vue minéralisation.

A plusieurs reprises et par des temps différents

nous avons pris la température de l'eau, elle varie entre 15° et 18°.

Degré hydrotimétrique total pris à la source 26°.

Après avoir chassé le gaz carbonique par l'ébullition, l'eau présente une réaction nettement alcaline. Elle fait effervescence avec les acides fixes et précipite par l'eau de baryte.

Nitrites et nitrates néant.

Au point de vue qualitatif nous y avons décelé du fer, du calcium, magnésium, sodium, sulfates et chlorures.

Alcalinité totale au méthylorange 105^{cm³} de soude N/10 par litre.

Alcalinité permanente au méthylorange 49^{cm³} de soude N/10 par litre.

Très limpide au début, l'eau laisse au bout de 48 heures un dépôt abondant de flocons brunâtres. Sa saveur est agréable, fraîche, piquante, odeur nulle.

Elle n'est pas consommée d'une façon habituelle.

Cette source ne présente donc qu'un très faible intérêt, il nous semble que le débit pourrait en être fortement augmenté, en la captant plus haut, car toutes les émergences réunies en cet endroit proviennent vraisemblablement d'une nappe unique.

Goudet

A Goudet il existe de nombreux points d'émergence de sources ferrugineuses, situées dans le lit

même d'un petit torrent affluent de la Loire, en dessus du village. Ces sources sont complètement délaissées, du reste, de débit très faible, elles ne présentent aucun intérêt.

Ampilhac

A Ampilhac, on nous a signalé une source qui attire l'attention par le dépôt abondant qu'elle laisse dans le bac où elle se recueille.

Monsieur le docteur Arsac a bien voulu nous en procurer quelques bouteilles et avec lui nous avons fait les essais suivants :

Alcalinité totale au méthylorange 137,2 de soude N/10 par litre.

Nitrites et nitrates, néant.

Chlorures 0^{mmgr.} 15 par litre.

Matières organiques en milieu acide 6^{mmgr.}

Matières organiques en milieu alcalin 4^{mmgr.} 5

Degré hydrotimétrique total 6°.

Degré hydrotimétrique après précipitation par l'oxalate d'Am 4°.

Degré hydrotimétrique permanent 3°.

Degré hydrotimétrique permanent après précipitation par l'oxalate d'Am 2°/.

Fer traces.

Cette source de minéralisation très faible n'est pas employée.

Bauzac

Une source froide ferrugineuse existait autrefois non loin de Bauzac dans un ravin situé sous le cimetière. Nous n'avons pas pu retrouver cette source. Les gens du village se rappellent y avoir puisé il y a une trentaine d'année, mais à l'endroit approximatif où ils croient se souvenir qu'elle jaillissait nous n'avons trouvé aucun dépôt ferrugineux en indiquant la présence.

CONCLUSIONS

Le département de la Haute-Loire présente un assez grand nombre de sources minérales d'importance très variable.

Toutes ces sources sont bicarbonatées mixtes gazeuses. Elles jaillissent des terrains volcaniques, granit ou schistes cristallins.

Leur minéralisation est composée principalement de bicarbonates alcalins et terreux, avec présence de chlorures et de sulfates alcalins, quelques unes sont riches en fer, avec accessoirement du magnésium et du lithium. Elles sont toutes froides leur température étant entre 8° et 18°, leur débit est en général faible.

Elles ne sont pas fréquentées. Les mieux captées et les plus favorisées comme emplacement ou facilité d'accès sont exploitées ou vendues plutôt comme eau de table bien que certaines d'entre elles soient capables de rendre des services dans le traitement des affections de l'estomac et de l'intestin, tout comme les grandes stations bicarbonatées dont elles se rapprochent par leur composition.

A ces caractères il convient d'ajouter la radioactivité appréciable de quelques-unes dont la valeur est ainsi considérablement accrue.

Nous avons étudié les sources de : Bonnefont, Les Pandraux, Serville, Bas-en-Basset, Saint-Paul-de-Tartas, Ceyssac, Les Estreys, La Soucheyre, Sembadel, Saint-Julien-des-Chazes, Clémensat, Saint-Géron et Vézézoux.

<i>Vu :</i>	LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE
LE DOYEN,	ET. BARRAL.
JEAN LÉPINE.	

Vu et permis d'imprimer :
LYON, le 11 Décembre 1926.

LE RECTEUR, PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ,
J. CAVALIER.

BIBLIOGRAPHIE

- E. BARRAL. — Précis de chimie analytique.
DENIGES. — Traité de chimie analytique.
CROLAS et MOREAU. — Précis de pharmacie chimique.
DIENERT et WANDELBULCKE. — Dosage de la silice dans les eaux (Bull. soc. de chimie, 1923, n° 8).
DHOMMÉE. — Dosage de l'alcalinité de l'eau (Bulletin sciences pharmacologiques, mars-avril 1916).
FLEURY. — Eaux potables et eaux minérales.
A. FLORENCE. — Précis d'hydrologie médicale.
FRESENIUS. — Traité d'analyse qualitative et quantitative.
TOUFLAIN. — Analyse générale des eaux.
WURTZ. — Dictionnaire de chimie.
GUILLAUMIN. — Sur la détermination colorimétrique de la concentration en ions H des liquides biologiques (Journal de pharmacie et de chimie, nos 6 et 7, 1922).
BONNET — Degrés hydrotimétriques des eaux gazeuses (Annales des Falsifications, sept.-oct. 1907).
JOANNE. — Dictionnaire géographique de France, 1896.
TOURNAIRE. — Carte géologique de la Haute-Loire (musée du Puy):
— Carte géologique de la France (Ch. Béranger, éditeur. Le Puy, feuille 186).
1926. — Méthode pratique de recherche du radium dans les roches et les eaux (Pharmacie nouvelle, mars-avril 1926).

ÉTUDES ANTÉRIEURES

- ARNAUD, aîné. — Mémoire sur les eaux minérales de Margeaix, des Salles, des Estreys et des Pandraux (Annales de la Société d'agriculture, sciences, arts et commerce du Puy, année 1826, page 112).

- A. BALDIT. — « Sur la radioactivité des sources minérales du Velay ». (Communication faite à la Société scientifique et agricole le 3 octobre 1910).
- A. BALDIT, — « Recherches sur la radioactivité des sources minérales du Velay » (Bulletin historique, scientifique, littéraire, artistique et agricole, publié par la Société scientifique et agricole de la Haute-Loire, 1^{re} année 1914, 1^{er} fascicule, page 63).
- A. BALDIT. — « Sur un alignement des sources radioactives dans la région du Velay (Haute-Loire) ». (Bulletin des comptes-rendus à l'Académie des sciences du 30 mars 1923, page 1026).
- A. BATISSE. — Contribution à l'étude des propriétés chimiques et physiques de la souree radioactive des Estreys près Le Puy-en-Velay (thèse de doctorat en pharmacie, Lyon, 1923).
- BONNEFOND. — Note sur l'eau minérale de Clémensat (*Abeille brivadoise*, 16^e année, n° 21, mai 1880).
- M. BOULE — Guide du touriste, du naturaliste et de l'archéologue pour la Haute-Loire et le Haut-Vivarais
- M. BOULE. — Description géologique du Velay.
- M. BOULE. — Constitution géologique des environs du Puy (Bulletin soc. géol. de France, 3^e série, t. XVII, p. 270).
- P. BRESSAND. — Etude sur les eaux minérales du département de la Loire (thèse de doctorat en pharmacie, Lyon, 1924).
- DORLHAC. — Etude des gîtes minéraux de France. Bassin houiller de Brioude et de Brassac.
- JOYEUX. — Analyse des eaux minérales de la Soucheyre (Annales de la Société d'agriculture, sciences, arts et commerce du Puy, année 1926, page 122).
- LARTET L. — Compte-rendu de la course faite le lundi, 13 septembre, par les membres de la Société géologique à Ronzon, Ceyssac, à la Denise, à Espaly et à Saint-Marcel (Bulletin Société géologique de France, 2^e série. t. XXVI. page 1048).

- LECOQ H. — Les eaux minérales du Massif central considérées dans leurs rapports avec la chimie et la géologie, Paris, 1884.
- LORY. — Compte-rendu de la course du 13 septembre à Polignac, Cussac, etc. (Bulletin de la Société géologique de France, 2^e série, t. XXVI, page 1980).
- MATUSSIÈRE. — Description topographique et médicale de Brioude (Chapitre iv, page 83, année 1832).
- MOSNIER. — Rapport sur les eaux minérales de Clémensat à la Société scientifique et agricole de la Haute-Loire, mai 1886.
- NOGIER, — Recherches sur la radioactivité de quelques eaux minérales de la Haute-Loire et du Puy-de-Dôme (*Lyon médical*, n^o 25, juin, 1924).
- PAYRARD. — Petites éphémérides vellaviennes publiées dans *l'Echo du Velay* pour l'année 1889.
- RUELLE. — Tableau des substances minérales du département.
1719. — Bail à ferme de la fontaine des eaux minérales de Bonnefont dite aussi des Salles ou des Rosières, (Publié par M. Rouchon, dans le Bulletin historique, scientifique, littéraire, artistique et agricole de la Société scientifique et agricole de la Haute-Loire (1^{re} année, 1911, 4^e fascicule, page 331).
1924. — Rapport sur le projet de création à la Soucheyre d'une station estivale. Eaux minérales de Clémensat et de Saint-Géron (Imprimerie Watel, Brioude).
-

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS.....	9
INTRODUCTION.....	11
Chapitre I. — Etude générale sur la nature et la formation des sources minérales.....	13
Chapitre II. — Aperçu géographique et géologique du département de la Haute-Loire.....	17
Chapitre III. — Méthodes de recherches.....	23
Essais de potabilité.....	23
Identification des eaux minérales.....	40
Chapitre IV. — Bonnefont.....	43
Les Pandraux.....	49
Serville ou Margeaix.....	52
Bas-en-Basset. — La Chapelle-d'Aurec.....	54
Saint-Paul-de-Tartas.....	56
Ceyssac.....	60
Les Estreys.....	63
La Soucheyre.....	68
Sembadel, source Richard.....	76
Saint-Julien-des-Chazes.....	78
Clémensat.....	83
Saint-Géron.....	89
Vezezoux.....	92
Autres sources.....	94
CONCLUSIONS.....	99
BIBLIOGRAPHIE.....	101

